

TESIS TE092099

**EKSTRAKSI CIRI SINYAL ELECTROMYOGRAPHY
PADA 7 POLA GERAKAN SHOULDER JOINT
MENGUNAKAN MODIFIED MEAN FREQUENCY,
MODIFIED MEDIAN FREQUENCY, DAN LINEAR
ENVELOPE**

**PAULUS SUSETYO WARDANA
2210204004**

**DOSEN PEMBIMBING
ACHMAD ARIFIN, S.T., M.Eng., Ph.D.**

**PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK ELEKTRONIKA
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2013**



TESIS TE092099

**EKSTRAKSI CIRI SINYAL ELECTROMYOGRAPHY
PADA 7 POLA GERAKAN SHOULDER JOINT
MENGUNAKAN MODIFIED MEAN FREQUENCY,
MODIFIED MEDIAN FREQUENCY, DAN LINEAR
ENVELOPE**

**PAULUS SUSETYO WARDANA
2210204004**

**DOSEN PEMBIMBING
ACHMAD ARIFIN, S.T., M.Eng., Ph.D.**

**PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK ELEKTRONIKA
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2013**

THESIS TE092099

**ELECTROMYOGRAPH FEATURE EXTRACTION
FOR 7 PATTERN SHOULDER JOINT MOVEMENT
WITH MODIFIED MEAN FREQUENCY, MODIFIED
MEDIAN FREQUENCY, AND LINEAR ENVELOPE**

PAULUS SUSETYO WARDANA
2210204004

SUPERVISOR
ACHMAD ARIFIN, S.T., M.Eng., Ph.D.

MAGISTER PROGRAM
FIELD STUDY OF ELECTRONIC ENGINEERING
ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOVEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2013

**Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh
Paulus Susetyo Wardana
NRP. 2210204004**


**Tanggal Ujian : 10 Januari 2013
Periode Wisuda : Maret 2013**

**Disetujui oleh :
Dosen Penguji :**

Dosen Pembimbing :


**1. Ir. Djoko Purwanto, M.Eng., Ph.D.
NIP. 1965 1211 1990 021 002**


**1. Achmad Arifin, ST., M.Eng., Ph.D.
NIP. 1971 0314 1997 021 001**


**2. Dr. Muhammad Rival, ST., MT.
NIP. 1969 0426 1994 031 003**


**3. Dr. Tri Arief Sardjono, ST., MT.
NIP. 1970 0212 1995 121 001**


**4. Ronny Mardiyanto, ST., MT., Ph.D.
NIP. 1981 0118 2003 121 003**

Direktur Program Pascasarjana,


**Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.
NIP. 1964 0405 1990 021 001**

EKSTRAKSI CIRI SINYAL ELECTROMYOGRAPHY PADA 7 POLA GERAKAN SHOULDER JOINT MENGGUNAKAN MODIFIED MEAN FREQUENCY, MODIFIED MEDIAN FREQUENCY, DAN LINEAR ENVELOPE

Nama Mahasiswa : Paulus Susetyo Wardana
NRP : 220204004
Pembimbing : Achmad Arifin S.T., M.Eng., Ph.D.

ABSTRAK

Sinyal *Electromyograph* adalah salah satu sinyal penting yang menunjukkan aktifitas otot manusia, Sinyal *EMG* yang dihasilkan oleh 8 unit *instrumentasi EMG* yang terpasang pada 8 titik uji (otot deltoid1, otot deltoid2, otot infraspinatus, otot supraspinatus, otot teres mayor, otot latisimus dorsi, otot pectoralis1, dan otot pectoralis2) selanjutnya akan diekstraksi menggunakan metode Linear Envelope, Modified Mean Frequency (MMNF), dan Modified Median Frequency (MMDF) untuk mendapatkan ciri dari 7 pola gerakan shoulder joint. Penelitian dilakukan pada 3 subyek, dan hasil ekstraksi ciri yang diperoleh pada subyek A untuk metode MMNF adalah dihasilkan 2 kelompok sinyal mirip untuk 7 pola gerakan shoulder joint. Gerakan Resting Shoulder Subyek A dapat dikenali oleh nilai MMNF yang spesifik pada otot deltoid1, otot supraspinatus, otot latisimus dorsi, otot Pectoralis1, dan otot pectoralis2. Gerakan abduction juga dikenali dari nilai MMNF pada otot infraspinatus dan otot latisimus dorsi. Hasil yang diperoleh dari proses ekstraksi ciri MMNF pada subyek B adalah gerakan abduction, adduction, dan extension dapat dikenali dari nilai MMNF pada otot Pectoralis2, sedangkan gerakan resting shoulder, flexion shoulder, external rotation, dan internal rotation dapat dibedakan oleh otot latisimus dorsi. Pada proses ekstraksi ciri menggunakan MMDF subyek A menghasilkan nilai MMDF pada otot supraspinatus untuk mengenali gerakan flexion shoulder. Sedangkan gerakan resting shoulder, abduction, external rotation, dan internal rotation subyek A dapat dikenali oleh otot infraspinatus. Pada ekstraksi ciri MMDF subyek B menghasilkan nilai MMDF pada otot supraspinatus untuk membedakan gerakan Flexion, adduction, dan extension. Sedangkan nilai MMDF otot infraspinatus subyek B dapat digunakan untuk mengenali gerakan resting shoulder, abduction, external rotation, dan internal rotation. Untuk proses Ekstraksi menggunakan Linear Envelope Sinyal EMG menghasilkan nilai rata – rata perubahan energy pada resting shoulder Subyek A sebesar 0.0067 mV/s, pada subyek B sebesar 0,0048 mV/s, dan subyek C sebesar 0.0058 mV/s. Untuk gerakan flexion shoulder diperoleh pola gerakan dari energy yang rendah menjadi energy yang lebih tinggi pada semua otot(kecuali pada otot deltoid2) pada subyek B dan C, sedangkan pada subyek A mempunyai perubahan energy pada detik ke 3 yang menjadi lebih kecil untuk 4 buah ototnya (infraspinatus, supraspinatus, latisimus dorsi dan pectoralis 2).

Kata Kunci : Sinyal *Electromyograph*, *Shoulder Joint*, *Modified Mean Frequency*, *Modified Median Frequency*, *Linear Envelope*.

ELECTROMYOGRAPH FEATURE EXTRACTION FOR 7 PATTERN SHOULDER JOINT MOVEMENT WITH MODIFIED MEAN FREQUENCY, MODIFIED MEDIAN FREQUENCY, AND LINEAR ENVELOPE

Student name : Paulus Susetyo Wardana
NRP : 220204004
Supervisor : Achmad Arifin S.T., M.Eng., Ph.D.

ABSTRACT

Electromyography signal is very important signal for to explain human muscle activity. EMG signal from 8 units EMG instrumentation to detect Eight point for EMG test (Deltoid1 muscle, deltoid2 muscle, infraspinatus muscle, supraspinatus muscle, teres major muscle, latissimus dorsi muscle, pectoralis1 muscle, pectoralis2 muscle) then to extract the EMG signal with Linear Envelope, Modified Mean Frequency (MMNF), and Modified Median Frequency (MMDF) methods to obtain the 7 shoulder joint movement patterns. This study use 3 subject, and feature extraction results obtained in subjects A to MMNF method is similar to the signal generated 2 groups of 7 shoulder joint movement patterns. Resting Shoulder Subjects A movement can be recognized by a specific value on MMNF deltoid1 muscle, the supraspinatus muscle, the latissimus dorsi muscle, Pectoralis1 muscle, and pectoralis2 muscle. Movement of abduction also recognized the value MMNF infraspinatus muscle and the latissimus dorsi muscle. The results obtained from the feature extraction process on the subject of B is MMNF abduction movements, adduction, and extension can be recognized from the muscle Pectoralis2 MMNF value, while resting shoulder, flexion shoulder, external rotation, and internal rotation can be distinguished by the latissimus dorsi muscle. In the process of feature extraction using a subject MMDF produce MMDF value on the supraspinatus muscle to recognize shoulder flexion movement. While resting shoulder movement, abduction, external rotation, and internal rotation A subject can be recognized by the infraspinatus muscle. On the B subject of MMDF feature extraction generates value in the supraspinatus muscle to differentiate movement Flexion, adduction, and extension. While the value of the infraspinatus muscle MMDF subject B can be used to identify resting shoulder movement, abduction, external rotation, and internal rotation. For the extraction process using Linear Envelope EMG signals generate value - average change in resting energy shoulder Subjects A is 0.0067 mV / s, on the subject of B is 0.0048 mV / s, on subject of C is 0.0058 mV / s. For the movement of shoulder flexion movement pattern obtained from the low energy into energy that is higher in all muscles (except in muscle deltoid2) in subjects B and C, while on the subject of A has a change of energy in the 3'th second to 4'th second to smallest energy. (infraspinatus muscle, supraspinatus muscle, latissimus dorsi muscle and pectoralis 2 muscle).

Keyword : *Electromyography signal, Shoulder Joint, Modified Mean Frequency, Modified Median Frequency, Linear Envelope.*

KATA PENGANTAR

Seiring dengan perkembangan teknologi yang semakin canggih, terutama di bidang biomedik akan semakin memberikan wacana pembelajaran yang semakin dalam bagi para peneliti karena banyak permasalahan yang perlu diselesaikan terkait dengan sebuah topik penelitian.

Tesis dengan judul “Ekstraksi Ciri Sinyal Electromyography pada 7 Pola Gerakan Shoulder Joint menggunakan Modified Mean Frequency, Modified Median Frequency, dan Linear Envelope”, disusun untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Program Pascasarjana Teknik Elektronika di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari kata sempurna, maka kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan untuk kemajuan dimasa datang. Penulis berharap semoga tesis ini bermanfaat bagi pembaca sekalian.

Surabaya, 8 Desember 2013

Paulus Susetyo Wardana

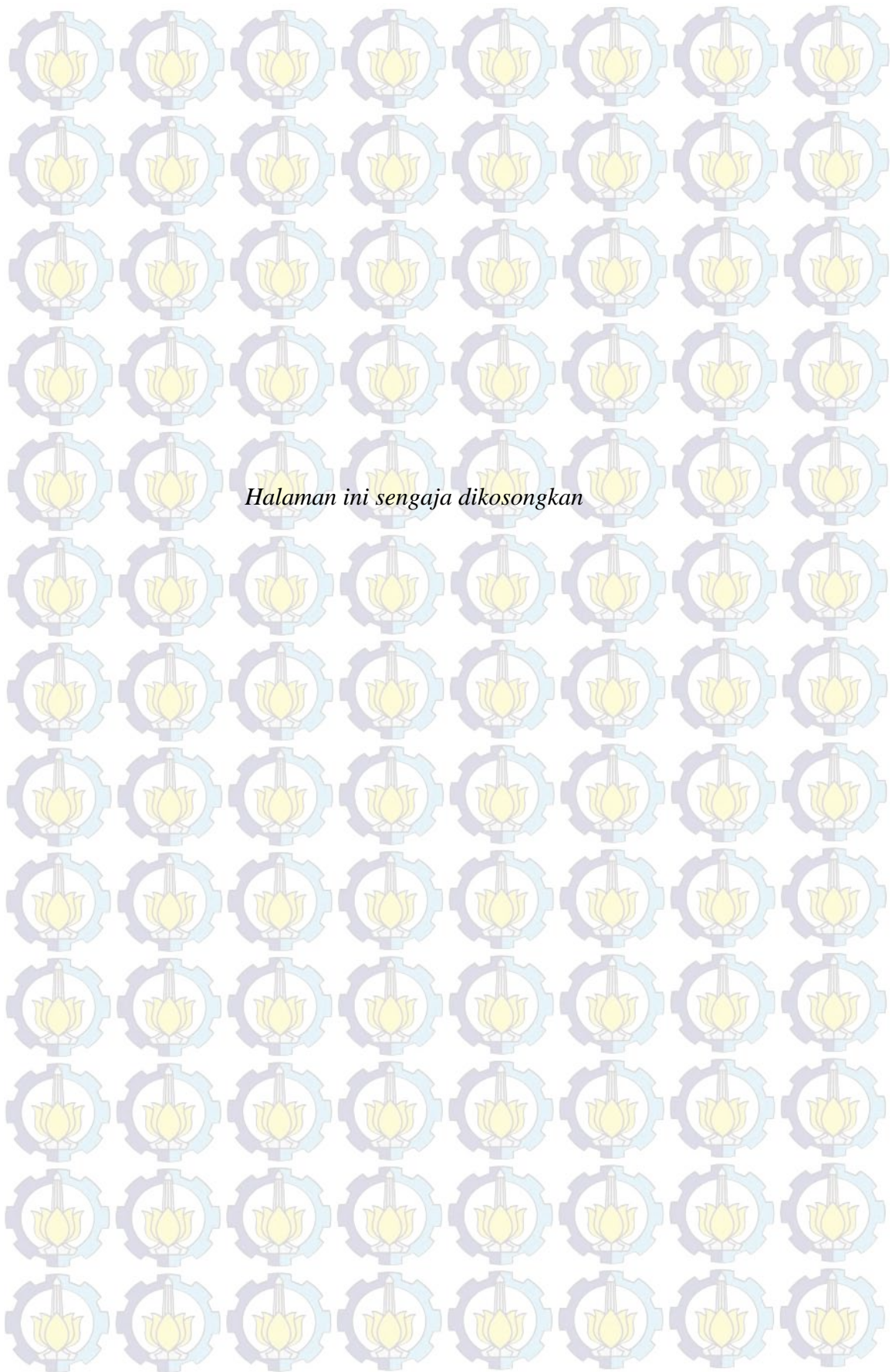
NRP. 2210204004

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan dan Batasan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB 2. KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1 Jurnal Terkait Penelitian	5
2.2 Sinyal Electromyograph	6
2.3 Instrumentasi EMG	9
2.3.1 Rangkaian Differential Amplifier	9
2.3.2 Rangkaian Low Pass Filter	10
2.3.3 Rangkaian High Pass Filter	13
2.3.4 Rangkaian Notch Filter	14
2.4. Akuisisi Data Sinyal EMG	14

2.5	Ekstraksi Ciri.....	16
2.5.1	Kawasan waktu (Time domain)	16
2.5.2	Kawasan frekuensi (Frequency Domain).....	17
2.5.3	Kawasan waktu-frekuensi(Time-Frequency Domain).....	18
BAB 3.	METODOLOGI PENELITIAN.....	19
3.1	Blok Diagram Sistem	19
3.2	Posisi Elektrode pada Lengan Manusia	20
3.3	Instrumentasi dan Akuisisi Data	20
3.3.1	Instrumentasi EMG	21
3.3.2	Akuisisi Data Sinyal EMG.....	25
3.4	Ekstraksi Ciri.....	26
3.4.1	Rectifier Sinyal EMG.....	26
3.4.2	Linear Envelope Sinyal EMG	28
3.4.3	Discrete Fourier Transform.....	29
3.4.4	Modified Mean Frekuensi	31
3.4.5	Modified Mean Frekuensi	32
BAB 4.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1	Pengujian pada rangkaian penguat beda (differential amplifier)	35
4.2	Pengujian Low Pass Filter	36
4.3	Pengujian High Pass Filter	36
4.4	Pengujian Notch Filter.....	37
4.5	Hasil Perekaman Sinyal EMG.....	38
4.5.1	Gerakan Resting Shoulder	38
4.5.2	Gerakan Flexion Shoulder	39
4.5.3	Gerakan Extension Shoulder.....	40
4.5.4	Gerakan Abduction Shoulder.....	41
4.5.5	Gerakan Adduction Shoulder.....	42
4.5.4	Gerakan External Rotation Shoulder	43
4.5.5	Gerakan Internal Rotation Shoulder	44
4.6	Hasil Perekaman data Sinyal EMG pada 7 Pola Gerak.....	45
4.7	Hasil Proses Ekstraksi Ciri (Rectifier dan Linear Envelope) data Sinyal EMG.....	46

4.8. Hasil Proses Ekstraksi Ciri Discrete Fourier Transform (DFT) sinyal EMG	55
4.1 Hasil Proses Modified Mean Frequency (MMNF) sinyal EMG	57
4.2 Hasil Proses Modified Median Frequency (MMDF) sinyal EMG	65
4.3 Hasil Proses Ekstraksi Ciri pada subyek B dan subyek C	74
BAB 5. PENUTUP	79
5.1. Kesimpulan	79
5.2. Rencana Lanjutan.....	81
DAFTAR PUSTAKA	83
DAFTAR LAMPIRAN	85
DAFTAR PUBLIKASI	



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Otot – otot dalam sistem pergerakan Lengan pada shoulder Joint	8
Tabel 2.2.	Koefisien Butterworth	12
Tabel 3.1.	Perhitungan R1 dan R2 untuk LPF orde 4 (Butterworth LPF)	23
Tabel 3.2.	Perhitungan Nilai R1 dan R2 untuk HPF orde 4 type Butterworth ..	24
Tabel 3.3.	Perhitungan Baud rate pada Mikrokontroler ATXMega128	25
Tabel 4.1.	Energi Maksimum dan perubahan level energy pola gerak resting Subyek A	50
Tabel 4.2.	Energi Maksimum dan perubahan level energy pola gerak resting Subyek A (3 percobaan)	50
Tabel 4.3.	Energi Maksimum dan perubahan level energy pola gerak flexion shoulder Subyek A	51
Tabel 4.4.	Energi Maksimum dan perubahan level energy pola gerak Extension shoulder Subyek A	52
Tabel 4.5.	Energi Maksimum dan perubahan level energy pola gerak Abduction shoulder Subyek A	52
Tabel 4.6.	Energi Maksimum dan perubahan level energy pola gerak Adduction shoulder Subyek A	53
Tabel 4.7.	Energi Maksimum dan perubahan level energy pola gerak External Rotation shoulder Subyek A	53
Tabel 4.8.	Energi Maksimum dan perubahan level energy pola gerak Internal Rotation shoulder Subyek A	54

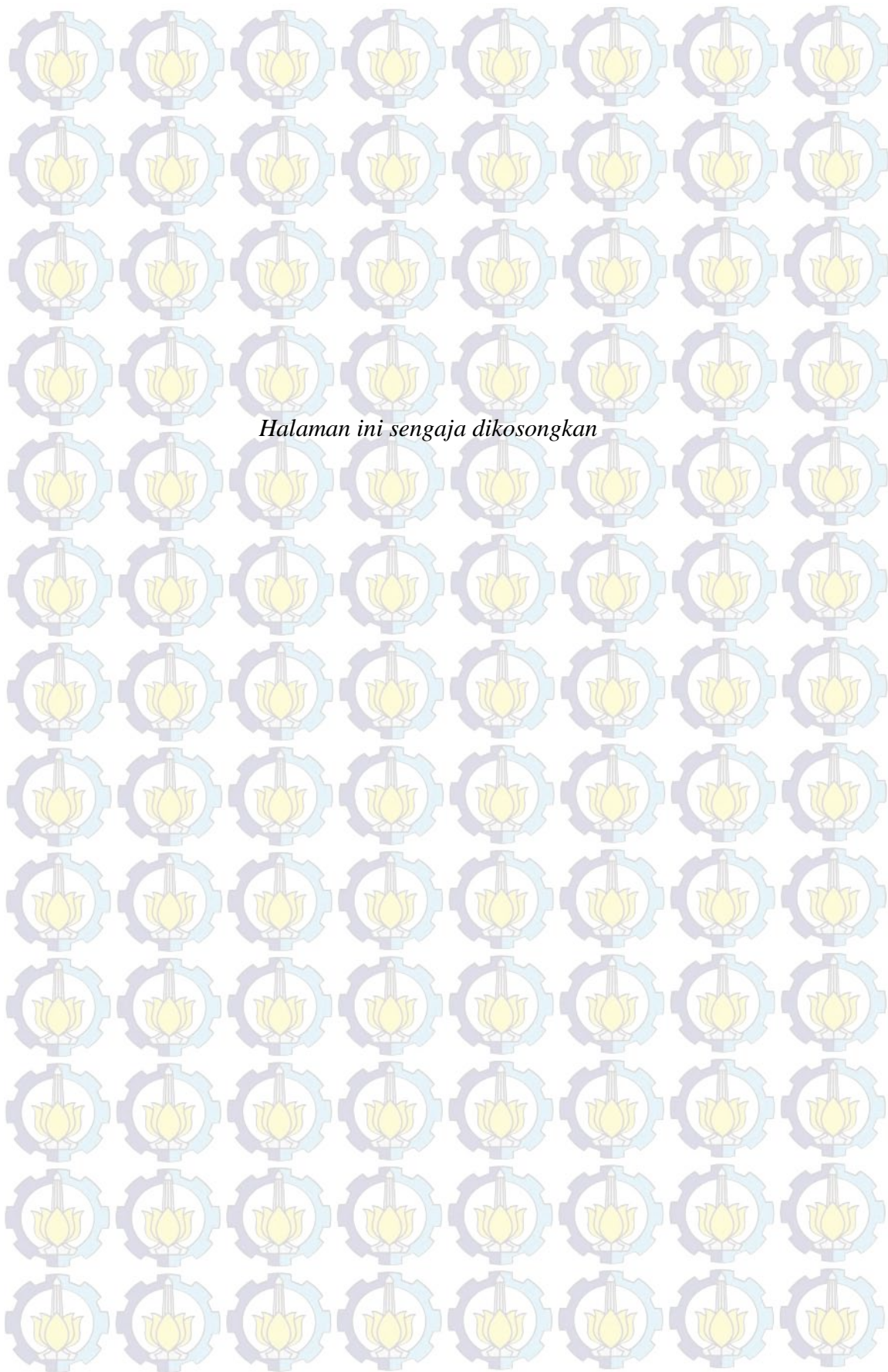
Tabel 4.9.	Hasil MMNF Sinyal EMG Subyek A pada otot Deltoid1 dan Deltoid2	57
Tabel 4.10.	Nilai rata – rata dan standar Deviasi proses MMNF	60
Tabel 4.11.	Perbedaan Nilai MMNF pada pola mirip (Flexion, Extension, Adduction)	61
Tabel 4.12.	Perbedaan Nilai MMNF pada pola mirip (Resting, abduction, External rotation, dan Internal Rotation)	61
Tabel 4.13.	Hasil MMDF Sinyal EMG Subyek A pada otot Deltoid1 dan Deltoid2	65
Tabel 4.14.	Nilai Rata – rata dan standar Deviasi proses MMDF	69
Tabel 4.15.	Perbedaan Nilai MMDF pada pola mirip (Flexion, Extension, Adduction)	70
Tabel 4.16.	Perbedaan Nilai MMDF pada pola mirip (Resting, abduction, External rotation, dan Internal Rotation)	70
Tabel 4.17.	Rata – rata dv/dt dan V_{maks} subyek B	74
Tabel 4.18.	Rata – rata dv/dt dan V_{maks} subyek C	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Skematik Mekanisme Kontrol Motor Dasar dan Motor Unit beserta komponennya	6
Gambar 2.2.	Electromyograph yang dihasilkan dari beberapa sinyal Motor Unit Potential Trains (MUPTs).....	7
Gambar 2.3.	Anatomy dari Shoulder joint.....	7
Gambar 2.4. (a)	Gerak extension dan flexion	8
Gambar 2.4. (b)	Gerak abduction dan adduction	8
Gambar 2.4. (c)	Gerak external rotation / lateral Rotation dan Internal Rotation / Medial Rotation	8
Gambar 2.5. (a)	Tampak belakang Lengan : Otot Suprapinatus, otot Infraspinatus, otot Teres Major	9
Gambar 2.5. (b)	Otot Teres major, otot Infraspinatus, otot Lattissimus Dorsi	9
Gambar 2.5. (c)	Tampak Samping Lengan : Otot Deltoid, otot teres major	9
Gambar 2.5. (d)	abdomen : otot pectoralis major	9
Gambar 2.6.	Rangkaian Differensial Amplifier	10
Gambar 2.7.	Rangkaian Low Pass Filter orde 4	10
Gambar 2.8.	Rangkaian Low Pass Filter Orde 2	11
Gambar 2.9.	Rangkaian High Pass Filter orde 4	13
Gambar 2.10.	Rangkaian Notch Filter	14
Gambar 2.11.	Blok Diagram ADC ATXMega128A1	15
Gambar 2.12.	Timing Diagram ADC ATXMega128A1	15
Gambar 3.1.	Blok Diagram Sistem secara keseluruhan.....	19
Gambar 3.2.(a)	Tampak depan : Otot Deltoid, otot Pectoralis	20
Gambar 3.2.(b).	Tampak belakang :otot supraspinatus, otot infraspinatus, otot teres mayor, dan otot Latisimus dorsi.....	20
Gambar 3.3.	Blok Diagram Instrumentasi EMG	21
Gambar 3.4.	Rangkaian Differential Amplifier	21
Gambar 3.5.	Rangkaian Low Pass Filter Orde 4	23
Gambar 3.6.	Rangkaian High Pass Filter Orde 4	24

Gambar 3.7.	Rangkaian Akuisisi Data menggunakan Mikrokontroller ATXMega128	25
Gambar 3.8.	Proses Parsing Data dan Perekaman ADC.....	26
Gambar 3.9.	Diagram Alir Sub Program Rectifier	27
Gambar 3.10.	Tampilan Hasil Proses Rectifier Sinyal EMG	27
Gambar 3.11.	Diagram Alir Sub Program Linear Envelope	28
Gambar 3.12.	Tampilan Hasil Proses Linear Envelope Sinyal EMG	29
Gambar 3.13.	Sub Program Discrete Fourier Transform	30
Gambar 3.14.	Blok Diagram Bagan Percobaan Pengujian Program DFT	30
Gambar 3.15.	Tampilan Hasil Proses DFT dengan Frekuensi Input 400 Hz	31
Gambar 3.16.	Diagram Alir Sub Program MMNF	31
Gambar 3.17.	Hasil Plot dari perhitungan MMNF	32
Gambar 3.18.	Diagram Alir Sub Program MMDF	32
Gambar 3.19.	Hasil Plot Data dari Perhitungan MMDF	33
Gambar 4.1.	Pengujian Rangkaian Differential Amplifier	35
Gambar 4.2.	Hasil uji rangkaian Differential Amplifier.....	35
Gambar 4.3.	Pengujian rangkaian LPF.....	36
Gambar 4.4.	Hasil Percobaan LPF ($f_c = 400$).....	36
Gambar 4.5.	Pengujian High Pass Filter	36
Gambar 4.6.	Hasil Pengujian HPF orde 4 ($f_c = 20$ Hz).....	37
Gambar 4.7.	Rangkaian Percobaan Notch Filter.....	37
Gambar 4.8.	Hasil Pengujian Notch Filter.....	37
Gambar 4.9.	Hasil Perekaman Sinyal EMG Resting Shoulder pada Subyek A.....	38
Gambar 4.10.	Hasil Perekaman Sinyal EMG Flexion Shoulder pada Subyek A.....	39
Gambar 4.11.	Hasil Perekaman Sinyal EMG Extension Shoulder pada Subyek A ...	40
Gambar 4.12.	Hasil Perekaman Sinyal EMG Abduction Shoulder pada Subyek A...	41
Gambar 4.13.	Hasil Perekaman Sinyal EMG Adduction Shoulder pada Subyek A...	42
Gambar 4.14.	Hasil Perekaman Sinyal EMG External Rotation Shoulder pada Subyek A.....	43
Gambar 4.15.	Hasil Perekaman Sinyal EMG Internal Rotation pada Subyek A.....	44
Gambar 4.16.	Hasil Perekaman Sinyal EMG 7 pola Gerak pada Subyek A	45

Gambar 4.17.	Hasil Proses Rectifier data Sinyal EMG 7 pola gerak pada subyek A..	46
Gambar 4.18.	Hasil Proses Linear Envelope data Sinyal EMG 7 pola gerak pada subyek A (Percobaan 1)	47
Gambar 4.19.	Hasil Proses Linear Envelope data Sinyal EMG 7 pola gerak pada subyek A (Percobaan 1,2,3)	49
Gambar 4.20.	Hasil DFT sinyal EMG 3 pola gerak subyek A pada otot Infraspinatus	55
Gambar 4.21.	Hasil DFT sinyal EMG 3 pola gerak subyek A pada otot Pectoralis2.....	56
Gambar 4.22.	Grafik MMNF dari tiap channel untuk 7 pola gerakan lengan pada 3 Percobaan	59
Gambar 4.23.	Pola Irisan Data MMNF dari tiap otot untuk pola sinyal mirip (flexion, extension, dan adduction)	63
Gambar 4.24.	Pola Irisan Data MMNF dari tiap otot untuk pola sinyal mirip (resting, abduction, external rotation, dan internal rotation)	64
Gambar 4.25.	Grafik MMDF dari tiap channel untuk 7 pola gerakan lengan pada 3 Percobaan	68
Gambar 4.26.	Pola Irisan Data MMDF dari tiap otot untuk pola sinyal mirip (flexion, extension, dan adduction)	72
Gambar 4.27.	Pola Irisan Data MMDF dari tiap otot untuk pola sinyal mirip (resting, abduction, external rotation, dan internal rotation)	73



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Sinyal Myoelectric atau Electromyograph (EMG) sebagai salah satu sinyal biomedik, sangat membantu manusia dalam melakukan aktifitas sehari – hari. Sinyal yang dihasilkan oleh syaraf otot ini mempunyai variasi terhadap waktu. Sinyal EMG yang dideteksi menggunakan surface electrode dan ditampilkan pada osiloskop merupakan jumlahan dari beberapa fiber muscle.[1]

Sinyal EMG mempunyai range frekuensi pada energi dominant antara 20 – 500Hz, dengan amplitudo antara 0 – 10 mV [2]. Selanjutnya sinyal EMG akan diolah menggunakan Sistem Akuisisi Data, Preprocessing, dan Klasifikasi Sinyal.

Dengan perkembangan teknologi biomedik yang cukup pesat, maka penulis berharap bisa membantu proses rehabilitasi pasien yang mengalami kelumpuhan pada lengan / patah lengan /amputee dengan bantuan lengan buatan (prosthetic hand) yang mempunyai perintah gerak dari sinyal lengan yang masih tersisa.

Banyak metode penelitian berbasis EMG telah dilakukan para peneliti untuk semakin meningkatkan tingkat akurasi gerakan lengan maupun tingkat akurasi dari pengenalan pola sinyal EMG. Beberapa peneliti seperti Huang dan Chen [3] membangun sebuah sistem "myoelectric discrimination" untuk sebuah lengan buatan banyak sudut (multi- degree prosthetic hand). Mereka menggunakan Back Propagation Neural Network (BPNN) untuk memisahkan beberapa set ciri (feature set). Dari sistem pemisah ini tingkat sukses rata – rata mencapai 85% untuk off-line test dan 71 % untuk on-line test.

Karlik [3] mengklasifikasikan sinyal EMG untuk kontrol perangkat prosthetic multifunction menggunakan 3 layer Back Propagation Neural Network (BPNN). Input BPNN adalah hasil dari segmentasi sinyal EMG menggunakan Auto Regressive (AR) yaitu a_1, a_2, a_3, a_4 , dan sinyal power. Penelitian ini mempunyai tingkat akurasi rata-rata 97,6% untuk kategori 6 gerakan (R : Resting, EF: Elbow Flexion, EE: Elbow Extension, WS: Wrist Supination, WP: Wrist Pronation dan G: Grasp) dengan 5000 iterasi.

Tsuji et al. [6] memperkenalkan sebuah neural network yang diberi nama "Recurrent Log Linearized Gaussian Mixture Network" (R- LLGMN) untuk mengklasifikasikan sinyal

time series, secara lebih khusus untuk sinyal EEG. Tingkat akurasi yang didapat adalah 94,4%. Angkoon Phinyomark [10] mendapatkan 2 Novel ekstraksi ciri sinyal EMG untuk ketepatan pengenalan pola sinyal EMG.

Pada thesis ini penulis menggunakan sinyal EMG yang akan direkam dari lengan manusia normal dengan beberapa pola gerakan yang sama. Kategori gerakan difokuskan pada Lengan atas (Shoulder Joint). Pada tahap awal dilakukan pembuatan sistem instrumentasi dan akuisisi data untuk proses perekaman sinyal EMG. Proses selanjutnya adalah pemrosesan awal, ekstraksi ciri dan pengenalan pola. Pada proses ekstraksi ciri akan digunakan perhitungan MMNF (Modified Mean Frequency) yang telah diteliti oleh Angkoon Phinyomark.

1.2. Perumusan dan Batasan Masalah

Beberapa batasan dalam penelitian ini, antara lain :

1. Menggunakan 7 kategori gerak (R : Resting, SF: Shoulder Flexion, SE: Shoulder Extension, SAb : Shoulder Abduction, SAd : Shoulder Adduction, Shoulder Eksternal Rotation, Shoulder Internal Rotation)
2. Akuisisi data menggunakan sistem multi channel (8 channel).
3. Sensor yang digunakan adalah Elektrode EMG tipe Surface Electrode
4. Kalibrasi terhadap peralatan akuisisi data dilakukan dengan menguji kinerja alat yang dibuat dengan alat ukur standar seperti osiloskop, function generator.

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Membuat sistem akuisisi data untuk merekam sinyal EMG multi electrode.
2. Membuat sistem pemrosesan awal (*preprocessing*) sinyal EMG yaitu proses rectifier, dan proses Discrete Fourier Transform (DFT)
3. Mencari Ekstraksi ciri sinyal EMG 7 pola gerakan menggunakan Linear Envelope, Modified Mean Frekuensi (MMNF) dan Modified Median Frequency (MMDF).

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini mempunyai tujuan:

1. Mendapatkan data sinyal EMG dari lengan normal, dan selanjutnya dipelajari untuk mendapatkan ekstraksi ciri sinyal EMG 7 pola gerak.
2. Melakukan analisa ketepatan ekstraksi ciri terhadap 7 pola gerak lengan.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian “Ekstraksi Ciri Sinyal Electromyograph pada 7 Pola Gerakan Shouder Joint menggunakan MMNF, MMDF dan Linear Envelope” ini adalah sebagai penelitian awal yang mempunyai kontribusi pada bidang kedokteran, secara khusus pada bidang rehabilitasi pasien. (untuk membantu pasien amputee lengan, dengan harapan ke depan bisa dikembangkan dengan membuat sebuah robot lengan yang dapat digunakan pasien amputee lengan)

1.5. Sistematika Penulisan

Penulisan tesis ini dibagi ke dalam 5 bab, dengan sistematika sebagai berikut:

Bab 1 PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang permasalahan, perumusan dan batasan masalah, tujuan dari penelitian dan manfaatnya.

Bab 2 TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tentang teori dan tinjauan pustaka sebagai pendukung penelitian ini. Mula-mula dibahas parameter dari Electromyograph. Konsep dasar mengenai pengolahan sinyal EMG dituliskan sebagai teori pendukung. Tinjauan penelitian sebelumnya juga diulas yaitu ekstraksi ciri, klasifikasi sinyal dan tingkat keberhasilan yang dicapai.

Bab 3 METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian diawali dengan proses pengukuran sinyal EMG. Selanjutnya dilakukan pemrosesan awal Sinyal EMG, Ekstraksi Ciri Sinyal EMG

Bab 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dilakukan validasi terhadap hasil yang didapatkan.

Bab 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Sebagai penutup dari tesis ini diberikan kesimpulan serta saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Beberapa tinjauan pustaka yang dipaparkan adalah Jurnal terkait Penelitian, dan teori dasar yang dipaparkan antara lain Sinyal Electromyograph dan Pengolahan Sinyal EMG.

2.1. Jurnal Terkait Penelitian

Penelitian pengolahan sinyal EMG telah dilakukan sejak lama hingga saat ini. Metode yang digunakan pada pengolahan sinyal EMG juga semakin berkembang.

Huang dan Chen [3] membangun sebuah sistem "myoelectric discrimination" untuk sebuah lengan buatan banyak sudut (multi- degree prosthetic hand). Mereka menggunakan *Back Propagation Neural Network* (BPNN) untuk memisahkan beberapa set ciri (*feature set*). Dari sistem pemisah ini tingkat sukses rata – rata mencapai 85% untuk off-line test dan 71 % untuk on-line test.

Karlik [3] mengklasifikasikan sinyal EMG untuk kontrol perangkat *prosthetic multifunction* menggunakan *3 layer Back Propagation Neural Network* (BPNN). Input BPNN adalah hasil dari segmentasi sinyal EMG menggunakan *Auto Regressive* (AR) yaitu a_1, a_2, a_3, a_4 , dan sinyal power. Penelitian ini mempunyai tingkat akurasi rata-rata 97,6% untuk kategori 6 gerakan (*R : Resting, EF: Elbow Flexion, EE: Elbow Extension, WS: Wrist Supination, WP: Wrist Pronation dan G: Grasp*) dengan 5000 iterasi.

Tsuji et al. [6] memperkenalkan sebuah neural network yang diberi nama "*Recurrent Log Linearized Gaussian Mixture Network*" (R- LLGMN) untuk mengklasifikasikan sinyal time series, secara lebih khusus untuk sinyal EEG. Tingkat akurasi yang didapat adalah 94,4%.

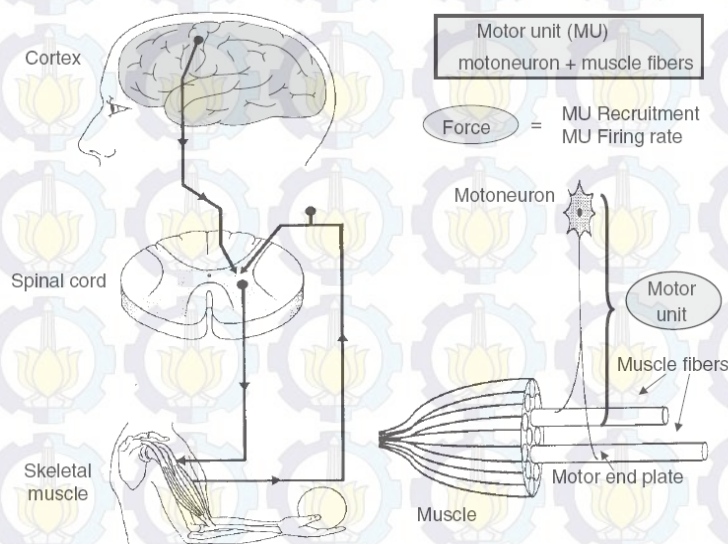
Angkoon Phinyomark [10] mendapatkan Novel ekstraksi ciri sinyal EMG untuk ketepatan pengenalan pola sinyal EMG. Dari journal yang berjudul "*A Novel Feature Extraction for Robust EMG Pattern Recognition*" telah dipelajari bahwa ekstraksi ciri MMNF (*Modified Mean Frequency*) sebagai ekstraksi ciri terbaik untuk proses pengenalan pola EMG. Disebutkan bahwa MMNF mempunyai rata-rata error 6% pada sinyal EMG kontraksi dan 10% pada sinyal

EMG lemah. Nilai ini masih dianggap terbaik dibandingkan dengan 16 ekstraksi ciri lain yang dicoba.

Nan Bu [4] telah melakukan penelitian terhadap robot lengan dan manusia menggunakan klasifikasi hybrid dengan jurnalnya yang berjudul “*A Hybrid Motion Classification Approach for EMG- Based Human – Robot Interfaces Using Bayesian and Neural Network*”.

2.2. Sinyal Electromyograph

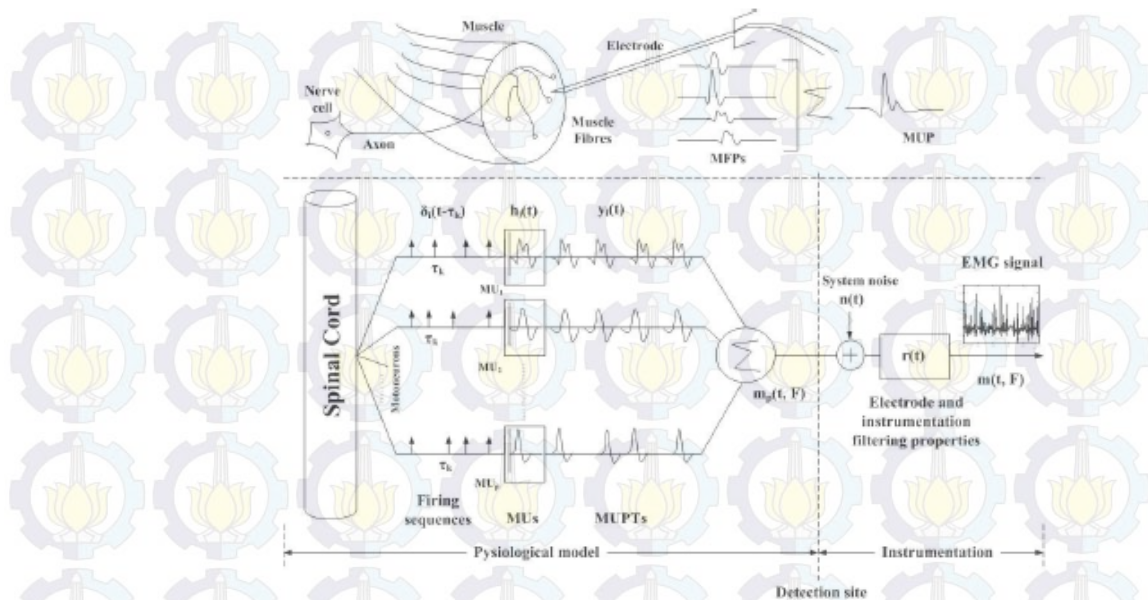
Pada jaringan otot manusia, terdapat jaringan syaraf yang secara skematik ditunjukkan pada gambar 2.1., Nampak pada gambar bahwa sebuah Gaya (Force) gerakan yang dilakukan otot adalah hasil dari koordinasi sebuah Motor Unit (terdiri dari motoneuron dan muscle fiber)



Gambar 2.1 Skematik Mekanisme Kontrol Motor Dasar dan Motor Unit beserta komponennya [5]

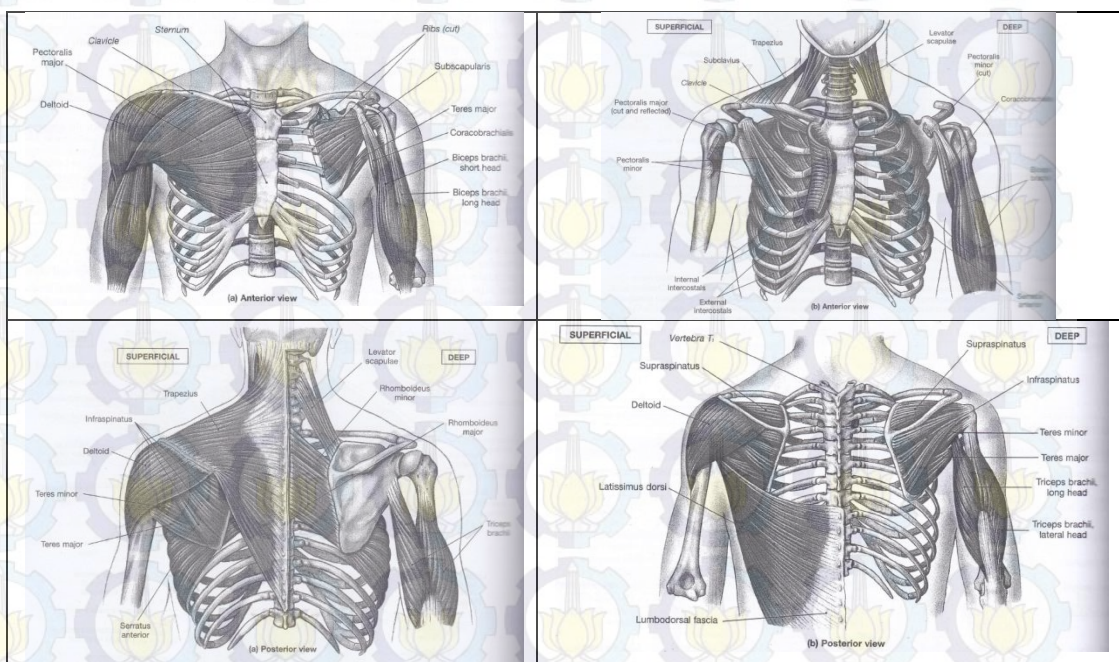
Electromyogram adalah teknik untuk mengevaluasi dan merekam aktifitas sinyal otot, yang merupakan jumlah dari beberapa sinyal Potensial muscle fiber (MFP) menjadi sebuah Motor Unit Potensial (MUP), dan dari sebuah MUP akan mengeluarkan Motor Unit Potensial Trains (MUPT) seperti ditunjukkan pada gambar 2.2.

Pada pengukuran yang dilakukan dengan surface elektrode akan didapatkan sinyal Elektromyograph yang merupakan gabungan MUPTs dan memungkinkan juga masuknya sinyal noise.



Gambar 2.2. Electromyogaph yang dihasilkan dari beberapa sinyal Motor Unit Potential Trains (MUPTs)[1]

Lengan manusia mempunyai banyak bagian dan model gerakan. Pada penelitian ini akan dipelajari gerakan lengan pada shoulder joint sesuai dengan penempatan elektrode untuk pengambilan data EMG, secara anatomi bentuk lengan pada shoulder joint dapat ditunjukkan seperti pada gambar berikut:



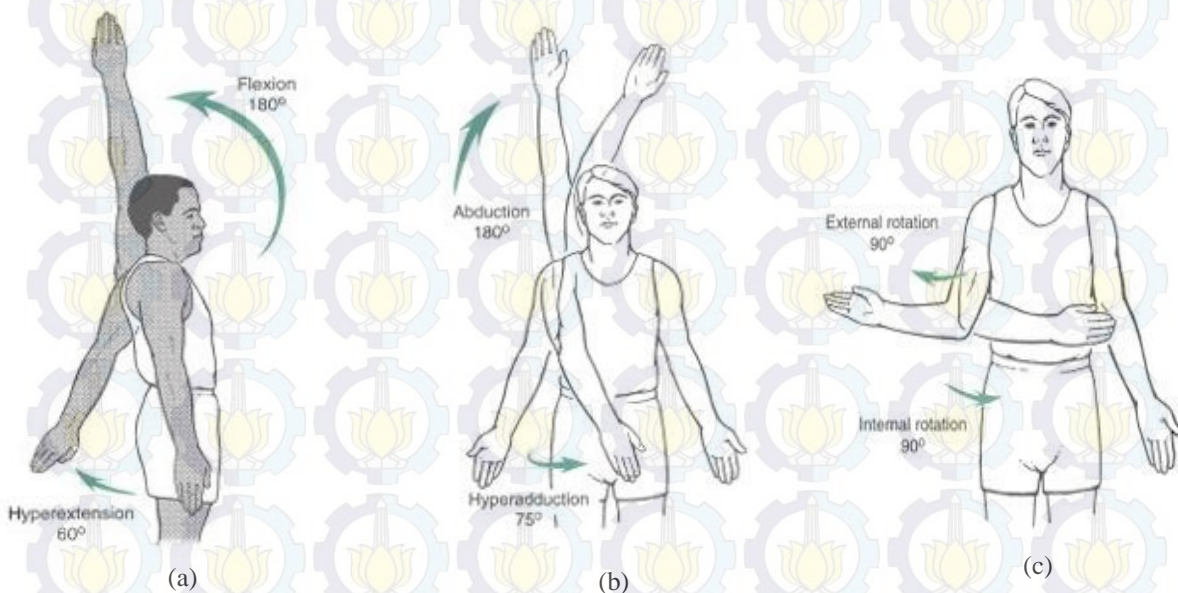
Gambar 2.3. Anatomy dari Shoulder joint [12]

Pola gerakan Lengan pada shoulder Joint dapat diklasifikasikan seperti pada tabel berikut:

Tabel 2.1. Otot – otot dalam sistem pergerakan Lengan pada shoulder Joint [12]

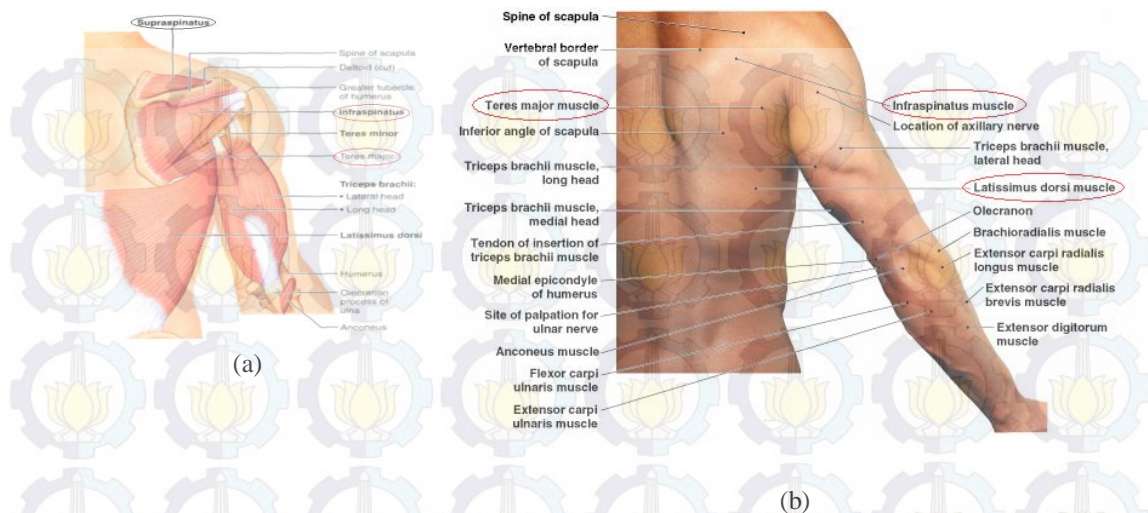
No	Pola Gerakan	Otot
1	Abduction	Deltoid (lateral) Deltoid (anterior) Supraspinatus Pectoralis major (clavicular head)
2	Adduction	Coracobrachialis Muscle Latissimus dorsi Pectoralis major (sternal head) Pectoralis major (clavicular head) Teres major
3	Extension	Teres Major Muscle Latissimus Dorsi Muscle Deltoid (posterior) Pectoralis major (sternal head)
4	Flexion	Deltoid (anterior) Deltoid (lateral) Pectoralis major (clavicular head) Coracobrachialis
5	Eksternal Rotation / Lateral Rotation	Teres minor Infraspinatus Deltoid (posterior)
6	Internal Rotation / Medial Rotation	Pectoralis major (sternal head) Pectoralis major (clavicular head) Latissimus dorsi Deltoid (anterior) Subscapularis Teres major

Berikut adalah gambar beberapa gerakan lengan dan istilah gerakan lengan seperti flexion, extension, adduction, abduction.

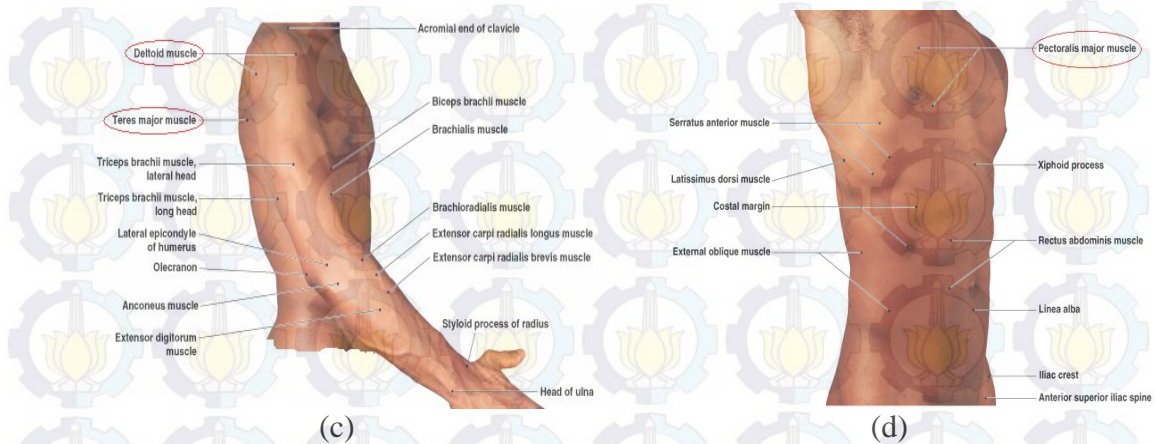


Gambar 2.4 (a) Gerak extension dan flexion (b) Gerak abduction dan adduction, (c) Gerak external rotation / lateral Rotation dan Internal Rotation / Medial Rotation [8]

Posisi otot (Deltoid Muscle, Suprapinatus Muscle, Coracobrachialis Muscle, Teres Major Muscle, Latissimus Dorsi Muscle, Infrapinatus Muscle, Subcapularis Muscle) ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 2.5.(a) Tampak belakang Lengan : Otot Suprapinatus, otot Infraspinatus, otot Teres Major.[7]
(b)Otot Teres major, otot Infraspinatus, otot Lattissimus Dorsi



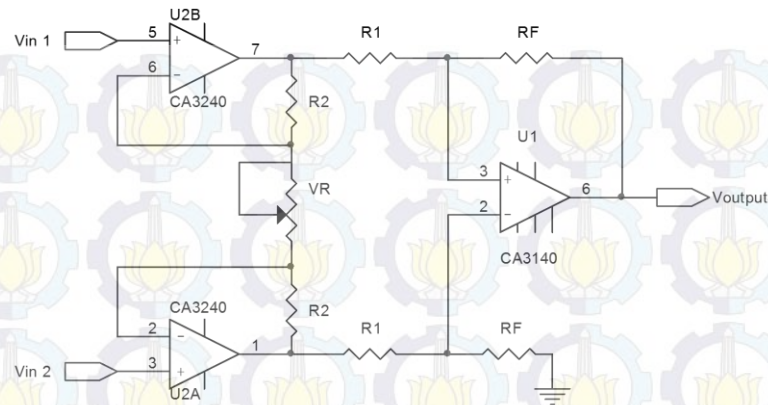
Gambar 2.5.(c) Tampak Samping Lengan : Otot Deltoid, otot teres major,
(d) abdomen : otot pectoralis major

2.3. Instrumentasi EMG

Sebuah instrumentasi EMG terdiri dari beberapa unit yang disusun secara berurutan (*cascade*). Unit terdepan adalah rangkaian penguat beda / *differential amplifier* atau sering disebut dengan penguat instrumentasi, berikutnya adalah rangkaian filter, dan rangkaian penguat.

2.3.1. Rangkaian Differential Amplifier

Sinyal EMG dideteksi menggunakan surface electrode yang dipasang pada 3 titik ukur. Dua titik ukur adalah beda potensial sinyal EMG dan yang satu lagi adalah ground. Rangkaian penguat beda (*differential Amplifier*) yang digunakan seperti ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 2.6. Rangkaian Differential Amplifier [13]

Persamaan Rangkaian *Differential Amplifier* [13] adalah :

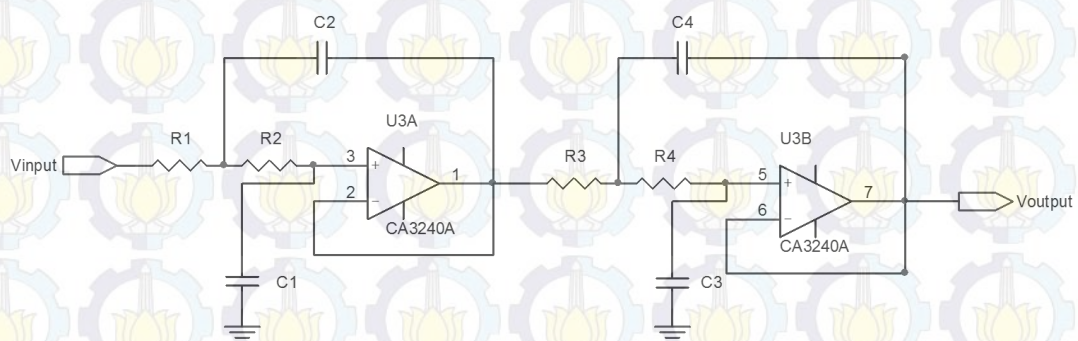
$$V_o = \left(\frac{R_f}{R_1}\right) \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot R_2}{R_G}\right) \cdot (V_{in2} - V_{in1})$$

2.3.2. Rangkaian Low Pass Filter

Sinyal EMG berada pada frekuensi 20 – 500 Hz [1], sehingga didesain filter Low Pass dengan Frekuensi Cut off 500 Hz.

Type filter Low Pass salah satunya adalah butterworth filter dengan topologi sallen key.

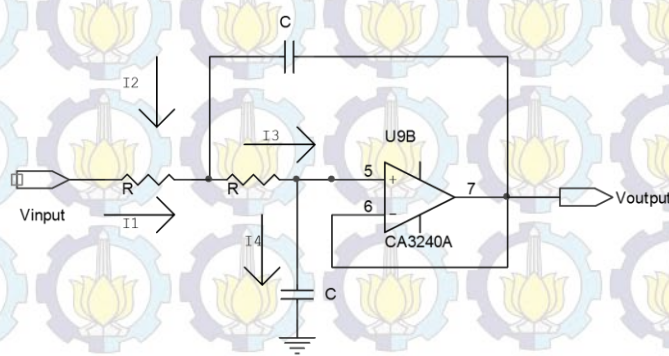
Filter orde 4 dapat dibangun dari 2 buah filter orde 2 yang dihubungkan seri, seperti ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 2.7. Rangkaian Low Pass Filter orde 4 [14].

Untuk menurunkan rumus rangkaian Low Pass Filter, maka dapat dicari sebagai berikut:

Dari rangkaian Low Pass Filter orde 2 dapat ditentukan besarnya arus I_1 , I_2 , I_3 , dan I_4 .



$$I_1 = (V_i - V_a)/R$$

$$I_2 = (V_o - V_a) j \omega C$$

$$I_3 = (V_a - V_o)/R$$

$$I_4 = V_o j \omega C$$

Gambar 2.8. Rangkaian Low Pass Filter Orde 2 [15]

diketahui :

$$I_3 = I_4$$

$$(V_a - V_o)/R = V_o j \omega C$$

$$V_a = V_o j \omega CR + V_o$$

dan

$$I_1 + I_2 = I_3$$

$$\frac{V_i - V_a}{R} + (V_o - V_a) j \omega C = \frac{V_a - V_o}{R}$$

$$\frac{V_i - (V_o j \omega CR + V_o)}{R} + (V_o - (V_o j \omega CR + V_o)) j \omega C = \frac{(V_o j \omega CR + V_o) - V_o}{R}$$

$$V_i - V_o j \omega CR - V_o - V_o j^2 \omega^2 C^2 R^2 = V_o j \omega CR$$

$$V_i = V_o j \omega CR + V_o + V_o j^2 \omega^2 C^2 R^2 + V_o j \omega CR$$

$$V_i = V_o (2 j \omega CR + 1 + j^2 \omega^2 C^2 R^2)$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{1 + 2 j \omega CR + j^2 \omega^2 C^2 R^2}$$

$$\text{Jika } s = j\omega, a = 2\omega CR, b = \omega^2 C^2 R^2, A_o = 1$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{1 + as + bs^2}$$

Maka persamaan fungsi Alih Low Pass Filter adalah :

$$A(s) = \frac{A_o}{1 + as + bs^2}$$

Apabila menggunakan Filter Butterworth maka koefisien a dan b mengikuti table koefisien butterworth (table 2.2), dimana n adalah orde filter yang digunakan.

Tabel 2.2. Koefisien Butterworth [14]

n	i	a _i	b _i	k _i = f _{Ci} / f _C	Q _i
1	1	1.0000	0.0000	1.000	—
2	1	1.4142	1.0000	1.000	0.71
3	1	1.0000	0.0000	1.000	—
	2	1.0000	1.0000	1.272	1.00
4	1	1.8478	1.0000	0.719	0.54
	2	0.7654	1.0000	1.390	1.31

Sehingga persamaan LPF orde 4 menggunakan koefisien butterworth adalah :

$$A(s) = \frac{1}{(1 + a_1s + b_1s^2)(1 + a_2s + b_2s^2)}$$

$$A(s) = \frac{1}{(1 + 1.8478s + s^2)(1 + 0.7654s + s^2)}$$

Diketahui :

$$a = 2 \omega C_1 R \quad \text{dan} \quad b = \omega^2 C_1 C_2 R^2$$

Maka :

$$R = \frac{a}{2\omega C_1}$$

$$b = \omega^2 C_1 C_2 \left(\frac{a}{2\omega C_1}\right)^2$$

$$C_2 = C_1 \frac{4b_1}{a_1^2}$$

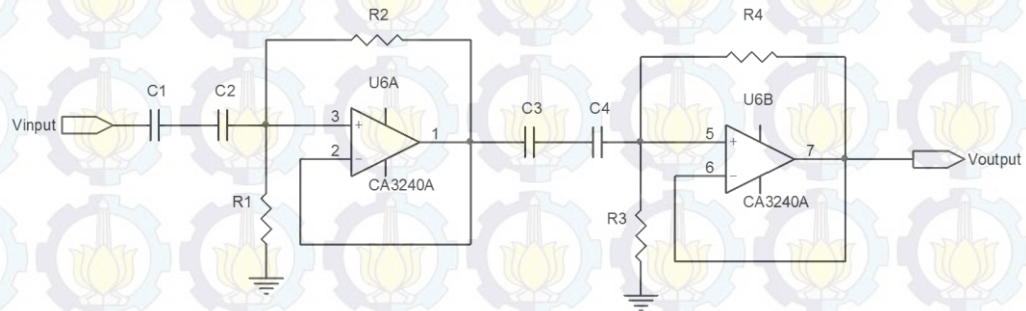
Untuk nilai R₁ dan R₂ dapat dihitung dengan persamaan sbb :

$$R_{1,2} = \frac{a}{2\omega C}$$

Dimana nilai a adalah konstanta Butterworth

2.3.3. Rangkaian High Pass Filter

rangkaian high pass filter seperti ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 2.9. Rangkaian High Pass Filter orde 4 [14]

Type filter adalah butterworth filter orde 4 dengan topologi sellen key,

High Pass Filter mempunyai Persamaan Fungsi Alih (*Transfer Function*) [14] sebagai berikut :

$$A(s) = \frac{A_{\infty}}{\prod_i \left(1 + \frac{a_i}{s} + \frac{b_i}{s^2} \right)}$$

Untuk High Pass Orde 2 persamaan Fungsi Alih adalah sbb:

$$A(s) = \frac{1}{1 + \frac{2}{\omega_c R_1 C} \cdot \frac{1}{s} + \frac{1}{\omega_c^2 R_1 R_2 C^2} \cdot \frac{1}{s^2}}$$

$$A_{\infty} = 1$$

$$a_1 = \frac{2}{\omega_c R_1 C}$$

$$b_1 = \frac{1}{\omega_c^2 R_1 R_2 C^2}$$

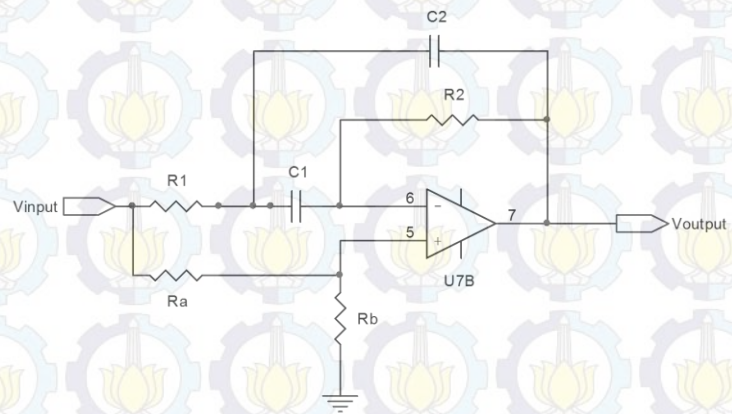
Maka nilai R_1 dan R_2 dapat ditentukan sbb:

$$R_1 = \frac{1}{\pi f_c C a_1}$$

$$R_2 = \frac{a_1}{4\pi f_c C b_1}$$

2.3.4. Rangkaian Notch Filter

Rangkaian Notch digunakan untuk menghilangkan sinyal noise yang berasal dari jala-jala listrik, sehingga frekuensi Cut off adalah 50 Hz,



Gambar 2.10. Rangkaian Notch Filter

Rangkaian Notch dapat dirancang dengan persamaan sebagai berikut:

$$\omega_r = 2\pi f_0$$

$$Q = \frac{\omega_r}{B}$$

$$R2 = \frac{2}{BC}$$

$$R1 = \frac{R2}{4Q^2}$$

$$Rb = 2Q^2Ra$$

dimana Q adalah faktor kualitas filter, B adalah Bandwith Filter, C adalah nilai Capacitor, dan nilai Resistansi R1,R2, Rb, Ra.

2.4. Akuisisi Data Sinyal EMG

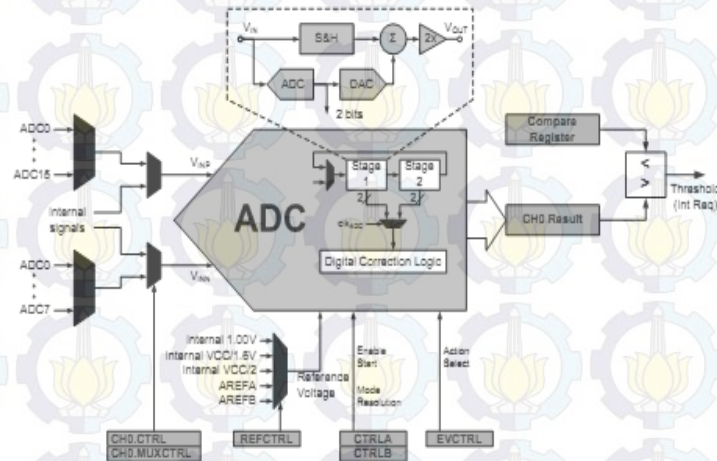
Setelah sinyal EMG diperoleh dari rangkaian instrumentasi, selanjutnya sinyal EMG dirubah dari tegangan analog menjadi data digital menggunakan ADC internal mikrokontroller ATXMega128A1.

ADC internal ATXMega128 mempunyai ciri (feature) sebagai berikut:

- Clock internal ADC bisa diseting sampai 4 MHz, untuk seting clock 32 MHz.
- Sinyal awal konversi ADC bisa diseting menggunakan mode trigger by software.
- Programming mikrokontroller menggunakan CodeVision AVR.
- Resolusi ADC adalah 8 atau 12 bit.

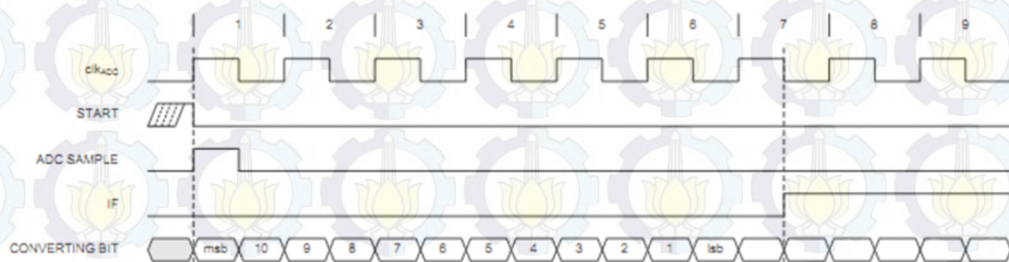
- Vref yang digunakan bisa diseting pada Vcc (3,3 volt) atau internal seting.
- Channel ADC ATXMega128 sebanyak adalah 16 channel
- Input Mode ADC bisa diseting signed bit (untuk mode differential input) atau unsigned bit (untuk mode single ended input)

Blok diagram ADC ATXMega128 seperti ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 2.11. Blok Diagram ADC ATXMega128A1[16]

ADC ATXMega128A1 adalah ADC type Successive Approximation, mempunyai beberapa function Register untuk seting Initalisasi, dengan 2 channel simultan. Proses konversi data 12 bit Analog to Digital membutuhkan clock sebesar 8 clock untuk single conversion, seperti ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 2.12. Timing Diagram ADC ATXMega128A1[16]

2.5. Ekstraksi Ciri

Proses pendahuluan (pre processing) menggunakan metode ekstraksi ciri (feature extraction) diperlukan untuk mendapatkan parameter ciri sinyal elektromyograph.

Beberapa metode ekstraksi ciri sinyal elektromyograph dikelompokkan dalam 3 tipe, yaitu: a) Kawasan waktu (time domain), b) Kawasan frekuensi (frequency domain), dan c) Kawasan waktu-frekuensi (time-frequency domain). [3]

2.5.1. Kawasan waktu (Time domain)

Ekstraksi ciri dalam kawasan waktu yang digunakan pada pemrosesan sinyal EMG, seperti:

1. Integrated EMG (IEMG)

$$IEMG = \sum_{i=1}^N |x_i|$$

2. Mean Absolute Value (MAV)

$$MAV_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |x_i|$$

3. Modified Mean Absolute Value (MMAV)

$$MMAV_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N w_i |x_i|$$

$$w(i) = \begin{cases} 1, & 0.25N \leq i \leq 0.75N \\ 0.5, & \text{otherwise} \end{cases}$$

4. Root Mean Square(RMS)

$$RMS_k = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2}$$

5. Variance (VAR)

$$VAR_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2$$

6. Zero Crossing(ZC)

$$\{x_i > 0 \text{ and } x_{i+1} < 0\} \text{ or } \{x_i < 0 \text{ and } x_{i+1} > 0\} \text{ and } |x_i - x_{i+1}| \geq \epsilon$$

7. Willison Amplitude(WAMP)

$$WAMP_k = \sum_{i=1}^{N-1} (f|x_i - x_{i+1}|)$$

$$f(x) = \begin{cases} 1, & x > \epsilon \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

8. Linear Envelope (LE)

$$LE[i] = \frac{1}{M} \sum_{j=0}^{M-1} x[i+j]$$

Dimana M adalah orde yang digunakan.

9. Zero Lag

$$ZLag[i] = \frac{1}{M} \sum_{j=0}^{M-1} x[i-j]$$

Dimana M adalah orde yang digunakan.

2.5.2. Kawasan frekuensi (Frequency Domain)

1. Discrete Fourier Transform (DFT)

Salah satu metoda ekstraksi ciri domain frekuensi adalah DFT, sinyal terlebih dahulu harus ditransformasi menggunakan Transformasi *Fourier*. Transformasi *Fourier* (TF) direpresentasikan kedalam persamaan matematis seperti pada Persamaan berikut :

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j2\pi ft} dt$$

dimana $X(f)$ adalah magnitude dari sinyal $x(t)$ dan f adalah frekuensi.

2. Auto Regressive (AR)

$$x_k = - \sum_{i=1}^N a_i x_{k-i} + e_k$$

3. Frequency Mean (FM)

$$F_{MN} = \frac{\sum_{i=1}^M f_i PSD_i}{\sum_{i=1}^M PSD_i}$$

4. Frequency Median (FMD)

$$F_{MD} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^M PSD_i$$

5. Modified Median Frequency (MMDF)

$$MMDF = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^M A_j$$

6. Modified Mean Frequency (MMNF)

$$MMNF = \frac{\sum_{j=1}^M f_j A_j}{\sum_{j=1}^M A_j}$$

2.5.3. Kawasan waktu-frekuensi (Time-Frequency Domain)

1. Short Time Fourier Transform (STFT)

$$STFT_x(t, \omega) = \int W^*(\tau - t) x(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau$$

2. Wavelet Transform (WT)

$$W_x(a, b) = \int x(t) \frac{(1)}{\sqrt{a}} \psi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) dt$$

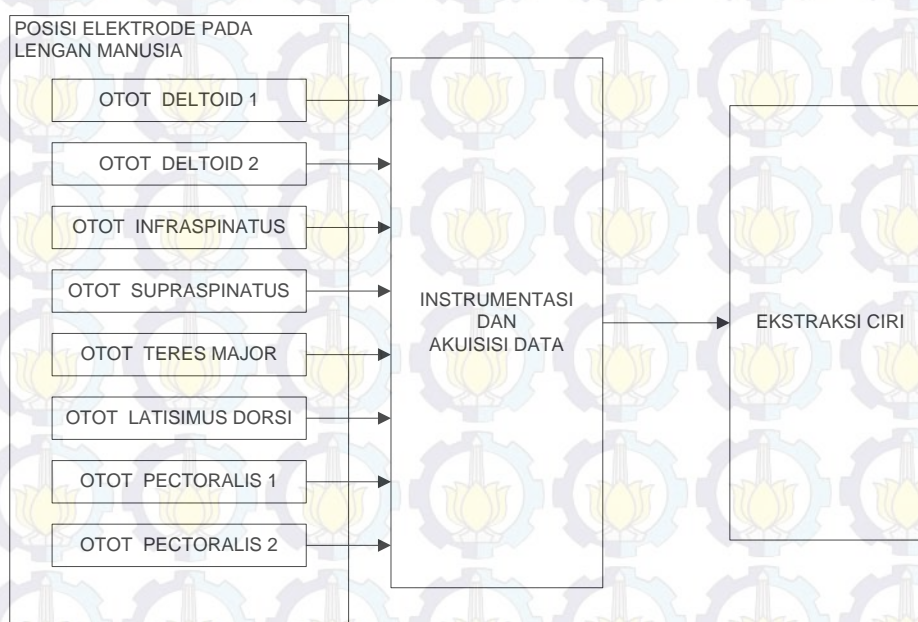
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab metodologi ini dibahas beberapa hal antara lain Blok Diagram Sistem, Posisi Elektrode pada Lengan Manusia, Instrumentasi dan Akuisisi Data, dan Ekstraksi Ciri.

3.1. Blok Diagram Sistem

Blok Diagram Sistem secara keseluruhan seperti ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 3.1. Blok Diagram Sistem secara keseluruhan

Data sinyal EMG diambil dari 8 pasang elektrode yang mewakili data dari pergerakan shoulder joint (posisi / letak elektrode mengacu pada otot yang dominan bekerja saat lengan manusia bergerak), selanjutnya data yang diperoleh dari rangkaian instrumentasi EMG dikonversi menjadi data digital menggunakan ADC internal mikrokontroler. Setelah menjadi data digital maka data akan dikirimkan ke komputer melalui komunikasi serial.

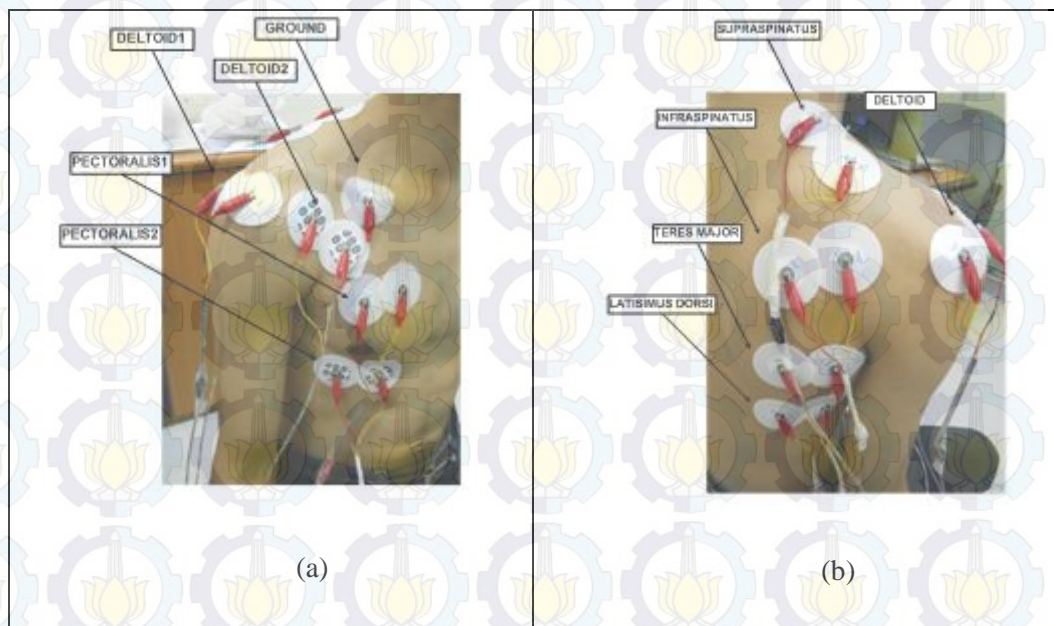
Melalui pengolahan program di komputer, sinyal EMG akan diproses melalui beberapa tahapan, yaitu Pemrosesan awal dan beberapa metode Ekstraksi Ciri Sinyal EMG. Pada tahap pemrosesan awal dilakukan penyearahan sinyal EMG (Rectifier) dan merubah data sinyal EMG kawasan waktu menjadi sinyal EMG kawasan frekuensi

menggunakan Discrete Fourier Transform (DFT). Pada Tahap Ekstraksi Ciri Sinyal EMG digunakan perhitungan nilai energi rata-rata (Modified Mean Frequency) dan nilai tengah dari jumlah amplitudo pada kawasan frekuensi (Modified Median Frequency).

3.2. Posisi Elektrode pada Lengan Manusia

Sensor Electrode EMG yang digunakan adalah tipe non invasive electrode atau surface Electrode yang terhubung ke lengan manusia sebanyak 8 titik otot (mengacu pada otot yang dominan bekerja menurut buku Anatomi Physiologi [12])

Posisi penempatan electrode pada 8 titik otot (Deltoid Muscle, Suprapinatus Muscle, Teres Major Muscle, Latissimus Dorsi Muscle, Infrapinatus Muscle, Pectoralis Muscle) ditunjukkan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2.(a) Tampak depan : Otot Deltoid, otot pectoralis, (b) Tampak belakang : otot supraspinatus, otot infrapinatus, otot teres major dan otot latissimus dorsi

Untuk posisi Ground ditempatkan pada tulang yang terdekat adalah clavicle, seperti ditunjukkan pada gambar 3.2(a). Setiap titik otot dipasang 2 buah electrode untuk mendeteksi differential input yang terjadi pada otot.

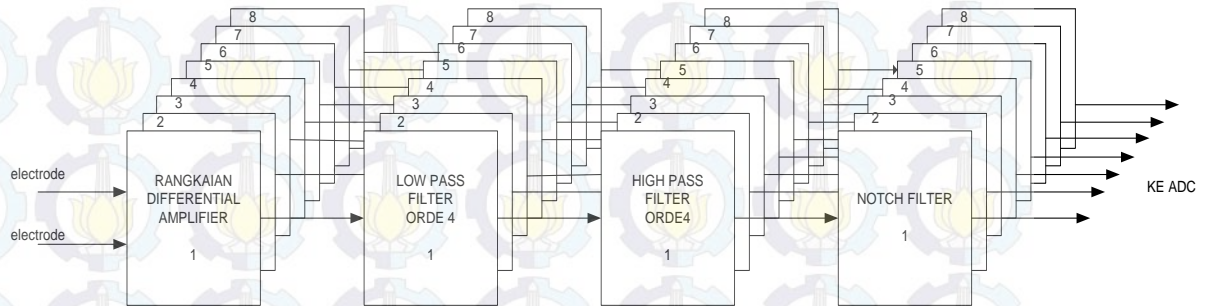
Selanjutnya elektrode dihubungkan pada rangkaian instrumentasi.

3.3. Instrumentasi dan Akuisisi Data

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan perangkat keras rangkaian instrumentasi sinyal EMG dan rangkaian Akuisisi Data.

3.3.1. Instrumentasi EMG

Diagram blok rangkaian instrumentasi seperti ditunjukkan pada gambar 3.3. Masing – masing unit dibuat sebanyak 8 buah sesuai dengan jumlah titik uji sinyal EMG pada lengan manusia.



Gambar 3.3. Blok Diagram Instrumentasi Sinyal EMG

Selanjutnya dilakukan perencanaan terhadap rangkaian penguat differensial, filter low pass, filter high pass dan notch filter.

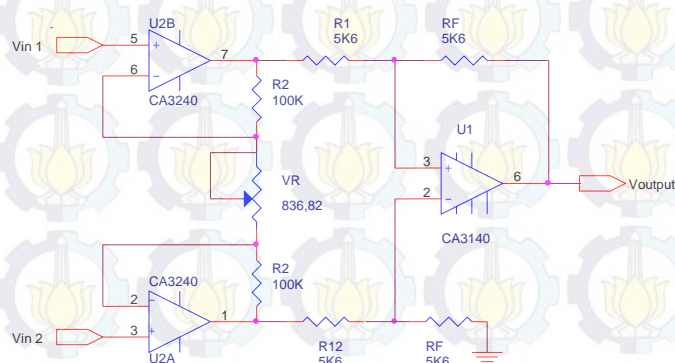
1. Rangkaian Differensial Amplifier

Sinyal EMG dideteksi menggunakan surface electrode yang dipasang pada 3 titik ukur. Dua titik ukur adalah beda potensial sinyal EMG dan yang satu lagi adalah ground. Rangkaian penguat beda (differential Amplifier) yang digunakan seperti ditunjukkan pada gambar 3.5. Persamaan Rangkaian *Differential Amplifier* [13] adalah :

$$V_o = \left(\frac{R_f}{R_1} \right) \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot R_2}{R_G} \right) \cdot (V_{in2} - V_{in1})$$

Perencanaan penguat : 1,2 Volt output pada 5 mV input, sehingga Penguatan sebesar 240 x
Nilai Resistansi yang digunakan : nilai RF dan R1 = 5,6KΩ

Maka dengan Av = 240, R2 = 100KΩ maka nilai Rg = 836,82Ω



Gambar 3.4. Rangkaian *Differential Amplifier EMG*

2. Rangkaian Low Pass Filter

Sinyal EMG berada pada frekuensi 20 – 500 Hz [1], sehingga desain filter Low Pass adalah sebagai berikut :

Type filter adalah butterworth filter orde 4 dengan topologi sellen key [2],

Frek. Cut off 500 Hz, dengan penguatan 1x

Low Pass Filter mempunyai Persamaan Fungsi Alih (*Transfer Function*) sebagai berikut :

$$A(s) = \frac{1}{(1 + a_1s + b_1s^2)(1 + a_2s + b_2s^2)}$$

Untuk LPF orde 4 menggunakan koefisien butterworth mempunyai persamaan Fungsi Alih

$$A(s) = \frac{1}{(1 + 1.8478s + s^2)(1 + 0.7654s + s^2)}$$

diketahui :

$$a = 2 \omega C_1 R, b = \omega^2 C_1 C_2 R^2$$

Maka:

$$C_2 \geq C_1 \frac{4b_1}{a_1^2}$$

C_1 ditentukan 47 nF, maka C_2 adalah

$$C_2 \geq 0.000000047 \frac{4}{1.8478^2}$$

$$C_2 \geq 5.5e - 8 \text{ (orde 2 pertama)}$$

$$C_2 \geq 0.000000047 \frac{4}{0.7654^2}$$

$$C_2 \geq 3.21e - 7 \text{ (orde 2 kedua)}$$

Maka nilai capacitor yang digunakan adalah 56 nF dan 330nF

Untuk nilai R_1 dan R_2 dapat dihitung dengan persamaan sbb :

$$R = \frac{a}{2\omega C_1}$$

Dimana a adalah konstanta butterworth.

Untuk orde 2 pertama a=1.8478 sedangkan orde 2 kedua adalah 0.77

Nilai R untuk LPF orde 2 pertama adalah :

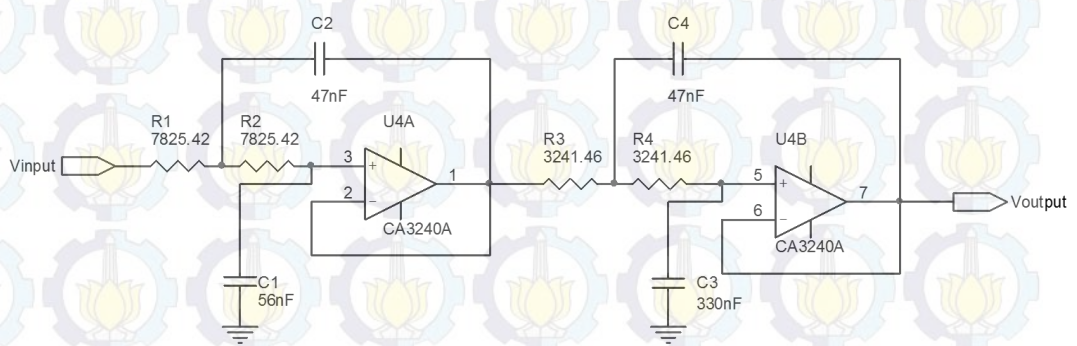
$$R = \frac{1.8478}{4 \cdot 3.14 \cdot 500 \cdot 47e-9} = 6260.33338$$

selanjutnya nilai Resistansi seperti ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 3.1. Perhitungan R1 dan R2 untuk LPF orde4 (Butterworth LPF)

a1	b1	fc	R1	R2
1,8478	1.00	500.00	6260.333379	6260.333379
a2	b2	fc	R1	R2
0.77	1.00	500.00	2593.169806	2593.169806
a1	b1	fc	R1	R2
1,8478	1.00	400.00	7825.416723	7825.416723
a2	b2	fc	R1	R2
0.77	1.00	400.00	3241.462258	3241.462258
a1	b1	fc	R1	R2
1.85	1.00	300.00	10433.88896	10433.88896
a2	b2	fc	R1	R2
0.77	1.00	300.00	4321.949677	4321.949677

Rangkaian low pass filter dirancang untuk frekuensi cut off 400 Hz, dengan nilai komponen seperti pada gambar berikut:



Gambar 3.5. Rangkaian Low Pass Filter orde 4

3. Rangkaian High Pass Filter

Type filter adalah butterworth filter orde 4 dengan topologi sallen key [2], Frek. Cut off 20 Hz, dengan penguatan 1x (unity gain)

$$A_{\infty} = 1$$

$$a_1 = \frac{2}{\omega_c R_1 C}$$

$$b_1 = \frac{1}{\omega_c^2 R_1 R_2 C^2}$$

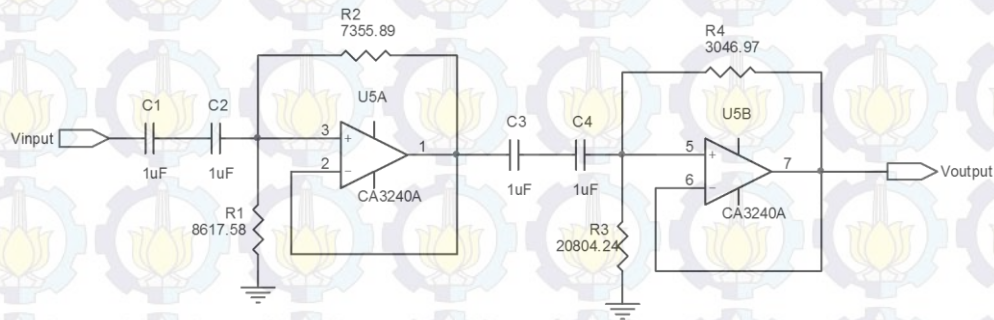
Maka nilai R₁ dan R₂ dapat ditentukan sbb:

$$R_1 = \frac{1}{\pi f_c C a_1}$$

$$R_2 = \frac{a_1}{4\pi f_c C b_1}$$

Desain Rangkaian High Pass Filter dengan frekuensi cut off 20 Hz adalah sbb:

Nilai C_1 dan C_2 ditentukan = 1 μ F



Gambar 3.6. Rangkaian High Pass Filter orde 4

Menggunakan nilai koefisien butterworth orde 4, dengan nilai cut off 10 Hz, 20 Hz sampai 40 Hz, maka diperoleh nilai R_1 dan R_2 seperti ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 3.2. Perhitungan Nilai R_1 dan R_2 untuk HPF orde 4 type Butterworth HPF

	freq cutoff	$C_1 = C_2$	a_i	b_i	R_1	R_2
sec orde first in orde 4	10	1.00E-06	1.8478	1	17,235.16	14711.78
	20	1.00E-06	1.8478	1	8,617.58	7355.89
	30	1.00E-06	1.8478	1	5,745.05	4903.93
	40	1.00E-06	1.8478	1	4,308.79	3677.95
sec orde second in orde 4	10	1.00E-06	0.7654	1	41,608.48	6093.95
	20	1.00E-06	0.7654	1	20,804.24	3046.97
	30	1.00E-06	0.7654	1	13,869.49	2031.32
	40	1.00E-06	0.7654	1	10,402.12	1523.49

4. Rangkaian Notch Filter

Frekuensi cut off dari rangkaian Notch adalah 50 Hz, dan ditentukan nilai $B = 50$ dan R_a sebesar 1 $k\Omega$ sehingga dapat dicari nilai komponen R_2, R_1 dan R_b yang digunakan dengan perhitungan sebagai berikut:

$$Q = \frac{\omega_r}{B} = \frac{2\pi f}{B} = \frac{314}{50} = 6.28$$

$$R_2 = \frac{2}{BC} = \frac{2}{50 * 0.000001} = 40k\Omega$$

$$R_1 = \frac{R_2}{4Q^2} = \frac{40000}{4 * 6.28^2} = 253.56 \Omega$$

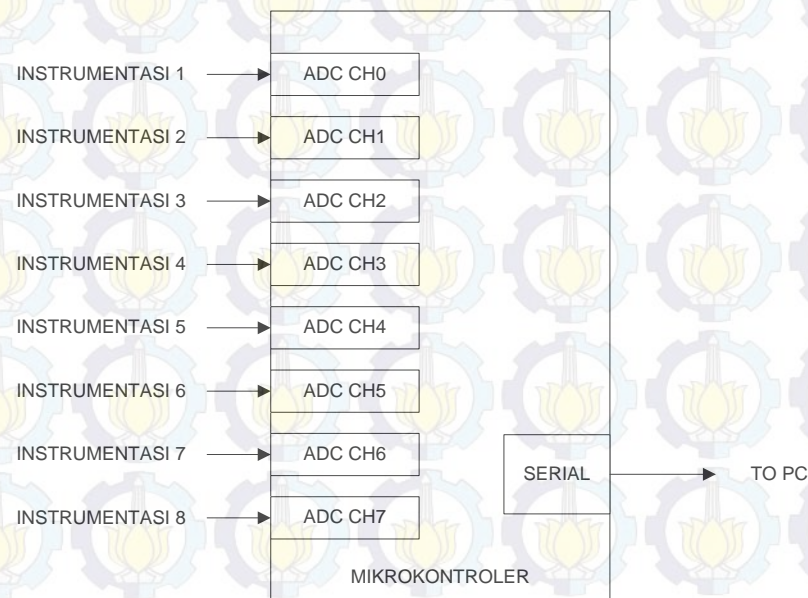
$$R_b = 2Q^2 R_a = 2 * 6.28^2 * 1000 = 78.877 k\Omega$$

3.3.2. Akuisisi Data Sinyal EMG

Setelah sinyal EMG diperoleh dari rangkaian instrumentasi, selanjutnya sinyal EMG diubah dari tegangan analog menjadi data digital menggunakan ADC internal mikrokontroler ATXMega128A1. Resolusi ADC yang digunakan 8 bit, sehingga dengan $V_{ref} = V_{cc}$ dapat dihitung perubahan tegangan per bit adalah :

$$Resolusi\ ADC = \frac{V_{cc}}{2^8 - 1} = \frac{3.3}{255} = 0.0129\ V/bit$$

ADC yang digunakan 8 channel untuk mengkonversi 8 sinyal EMG, seperti ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 3.7. Rangkaian Akuisisi Data menggunakan Mikrokontroler ATXMega128A1

ADC diseting mengambil data dari 8 channel setiap 250 μ S.

UART Mikrokontroler diseting pada kecepatan 921600 bps, dengan menentukan nilai BSEL dan BVAL pada mikrokontroler ATXMega128. Adapun rumus perhitungannya adalah :

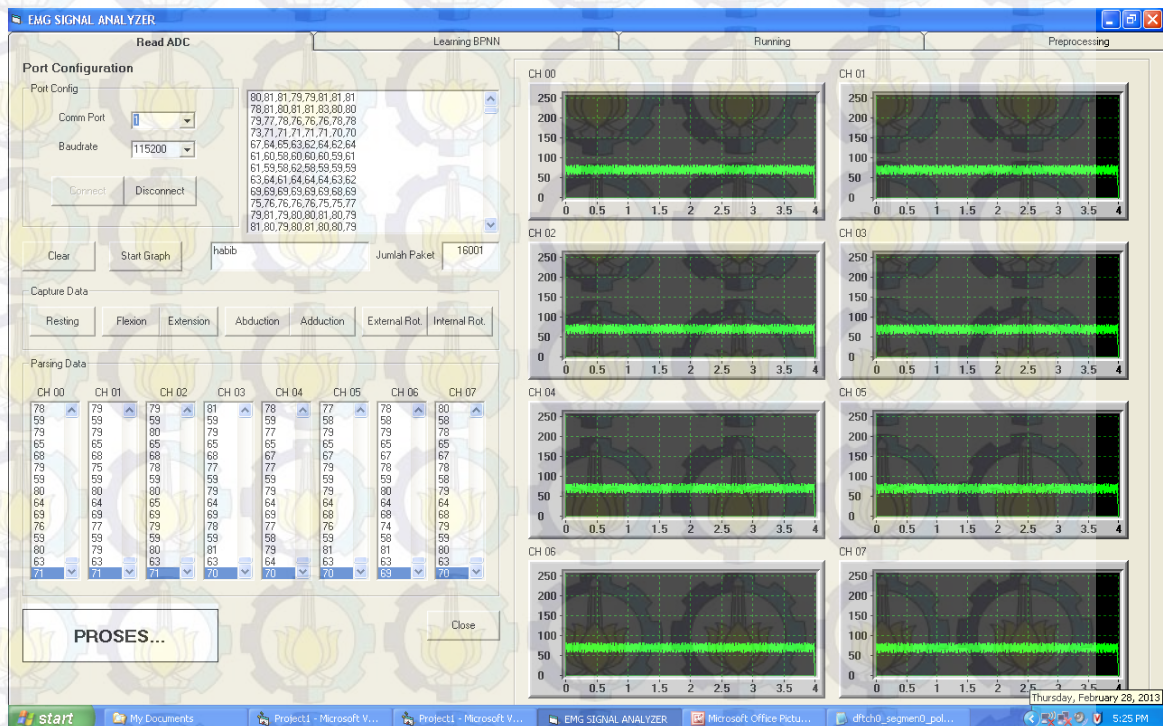
Tabel 3.3 Perhitungan baud rate pada mikrokontroler ATXMega128

Operating Mode	Conditions	Equation for Calculation Baud Rate ⁽¹⁾	Equation for Calculation BSEL Value
Asynchronous Normal Speed mode (CLK2X = 0)	$BSCALE \geq 0$ $f_{BAUD} \leq \frac{f_{PER}}{16}$	$f_{BAUD} = \frac{f_{PER}}{2^{BSCALE} \cdot 16(BSEL + 1)}$	$BSEL = \frac{f_{PER}}{2^{BSCALE} \cdot 16f_{BAUD}} - 1$
	$BSCALE < 0$ $f_{BAUD} \leq \frac{f_{PER}}{16}$	$f_{BAUD} = \frac{f_{PER}}{16(2^{BSCALE} \cdot BSEL + 1)}$	$BSEL = \frac{1}{2^{BSCALE}} \left(\frac{f_{PER}}{16f_{BAUD}} - 1 \right)$

Sehingga untuk baud rate 921600 bps nilai BSCALE adalah -7 dan BSEL 095H

Data EMG direkam selama 4 detik, sehingga jumlah data perchannel ADC adalah 4 detik / 0,000250 detik/data = 16000 data.

Proses perekaman data ADC pada PC seperti ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 3.8. Proses Parsing Data dan Perekaman ADC

Pada Tahap ini dilakukan proses pemisahan data serial menjadi data 8 channel yang digambarkan secara grafis dan proses perekaman data menjadi file sebanyak 8channel * jumlah gerakan (7) adalah 56 file untuk satu subyek.

3.4 Ekstraksi Ciri

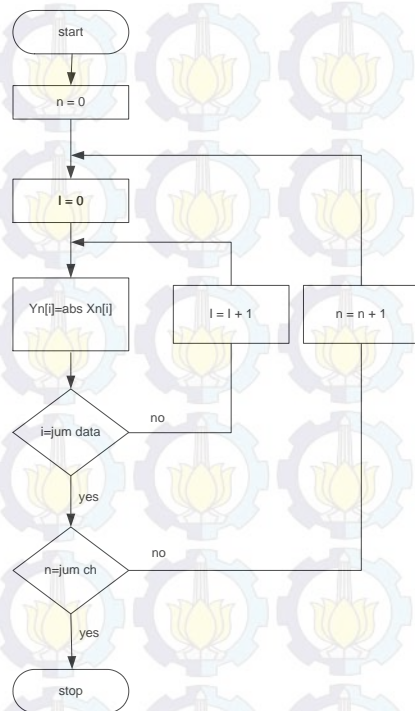
Beberapa Metode Ekstraksi Ciri digunakan untuk mendapatkan ciri sinyal EMG. Pada penelitian ini digunakan beberapa pemrosesan sinyal untuk mendapatkan ciri sinyal EMG, yaitu Rectifier, Discrete Fourier Transform (DFT), Linear Envelope, Modified Mean Frequency (MMNF), dan Modified Median Frekuensi (MMDF).

3.4.1. Rectifier Sinyal EMG

Proses rectifier atau penyearah digunakan untuk menghilangkan data negative dari sinyal EMG, adapun persamaan yang digunakan untuk proses rectifier adalah:

$$y[i] = |x[i]|$$

Diagram alir program Rectifier sinyal EMG dapat dituliskan sebagai berikut :



keterangan :

i adalah index data sinyal EMG

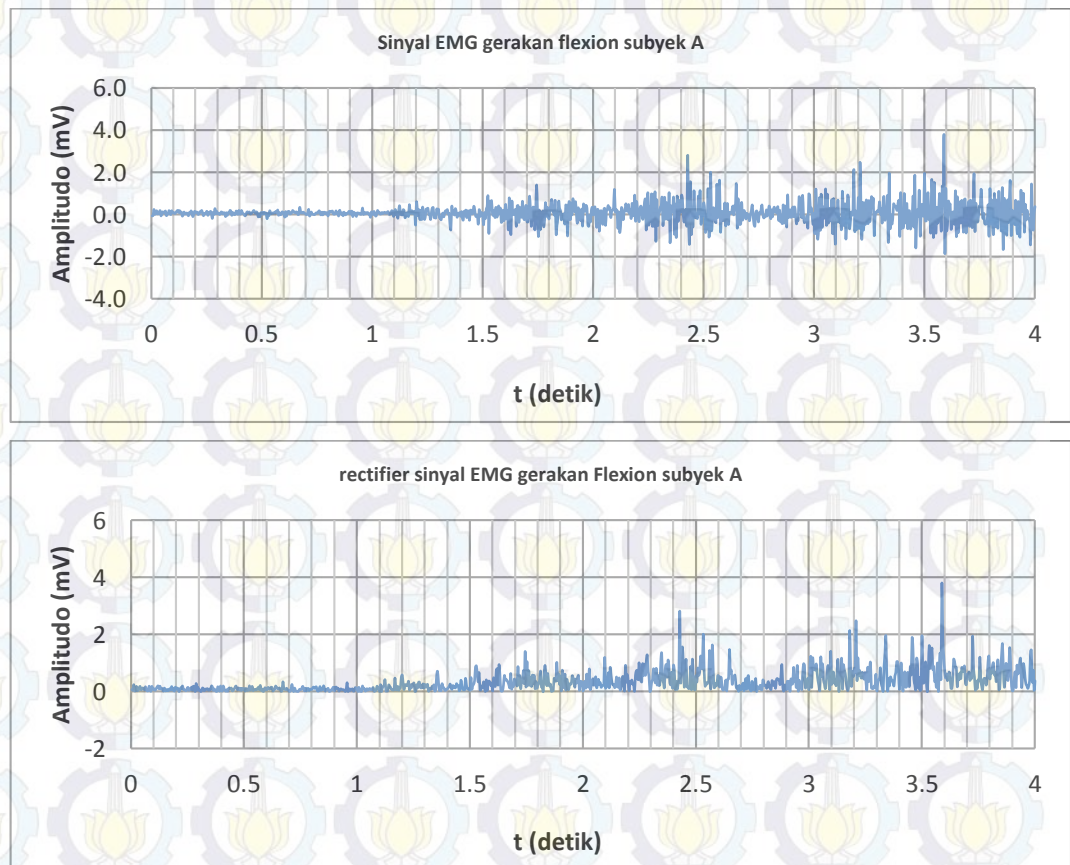
n adalah index channel ADC

jum data = 1000

jum channel = 8

Gambar 3.9. Diagram alir sub program Rectifier

Sebuah plot rectifier sinyal EMG adalah sebagai berikut :



Gambar 3.10. Tampilan Hasil Proses Rectifier Sinyal EMG

3.4.2. Linear Envelope Sinyal EMG

Pada proses linear envelope digunakan persamaan MAV (Moving Average) dan Zerolag. Dari Sinyal Linear Envelope akan didapatkan level puncak dari sinyal EMG. Persamaan Linear Envelope adalah :

$$LE[i] = \frac{1}{M} \sum_{j=0}^{M-1} x[i+j]$$

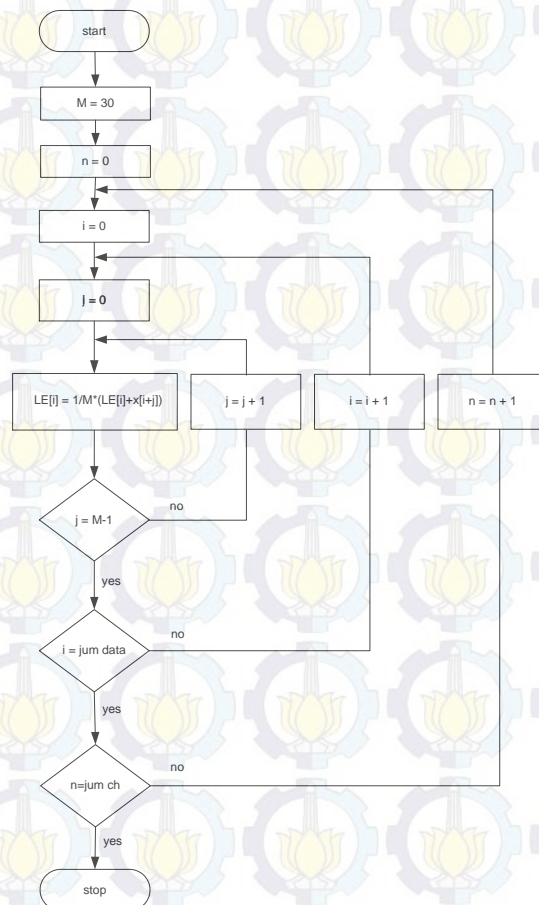
Nilai M yang digunakan 30.

Pada proses LE terjadi pergeseran fasa sinyal, sehingga untuk mengembalikan pergeseran tersebut digunakan Zerolag. Persamaan Zerolag adalah:

$$ZLag[i] = \frac{1}{M} \sum_{j=0}^{M-1} x[i-j]$$

Nilai M yang digunakan 30.

Diagram alir prosedur Linear Envelope adalah sebagai berikut:



Keterangan :

M = nilai orde

n = jumlah channel

j = indeks orde

i = indeks data

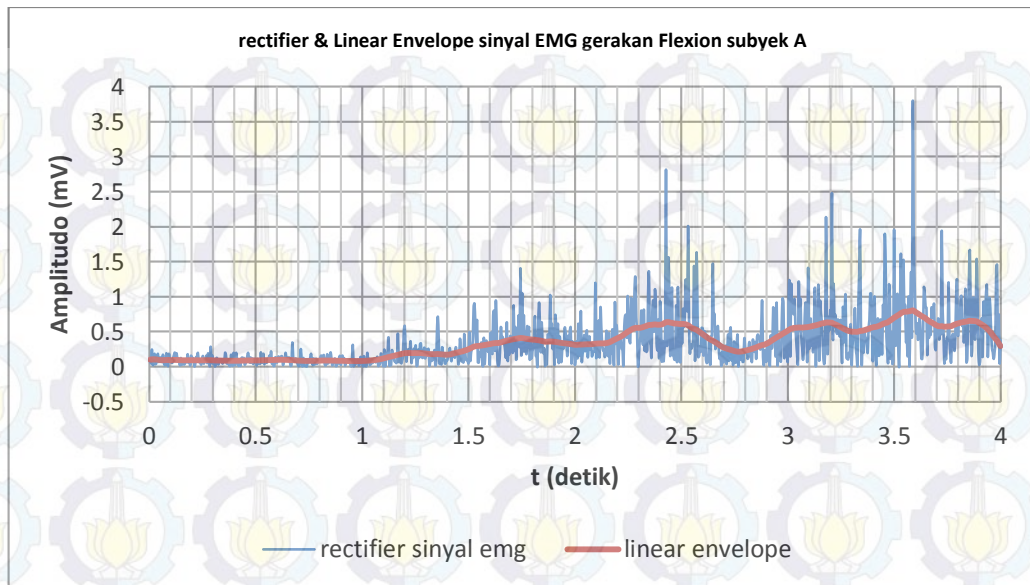
LE = Linear Envelope

Jumlah channel = 8

Jumlah data = 1000

Gambar 3.11. Diagram Alir Sub program Linear Envelope

Setelah program dijalankan, hasilnya adalah sebagai berikut :



Gambar 3.12. Tampilan Hasil Proses Linear Envelope Sinyal EMG

3.4.4. Discrete Fourier Transform

Untuk data diskrit, Transformasi Fourier disebut sebagai *Discrete Fourier Transform* (DFT). DFT direpresentasikan kedalam matematis, seperti pada Persamaan berikut :

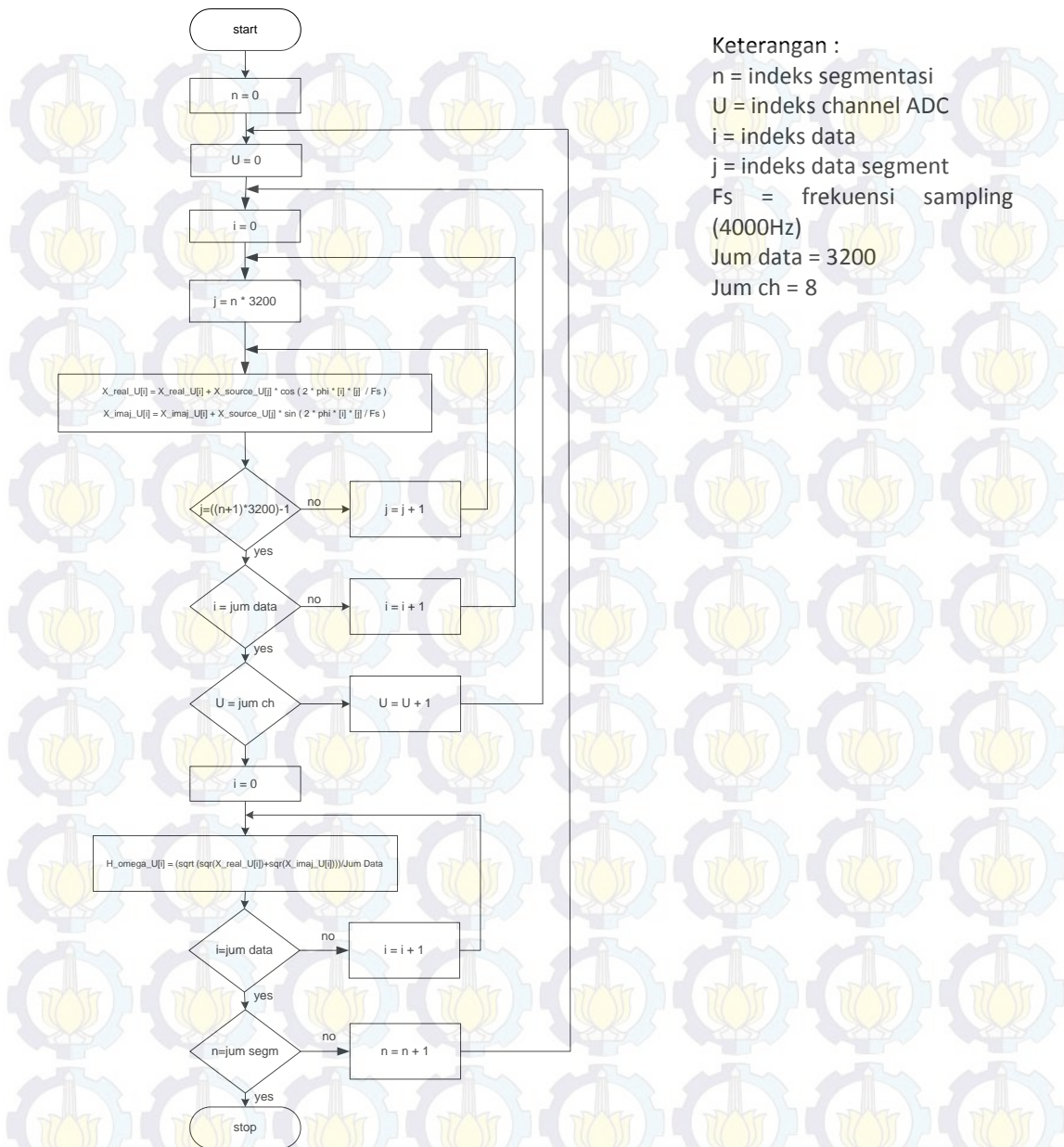
$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-\frac{j2\pi kn}{N}}, \quad 0 \leq k \leq N-1$$

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \{ \cos(2\pi kn/N) - j \sin(2\pi kn/N) \}$$

dimana $X[k]$ adalah magnitude pada frekuensi ke- k , k adalah indeks frekuensi, $x[n]$ adalah sinyal pada sample ke- n dan N adalah jumlah sample sinyal.

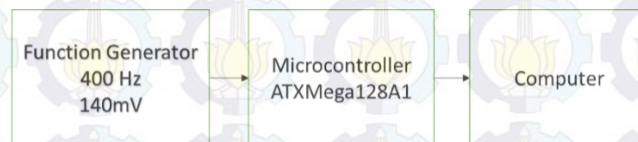
Sinyal EMG yang didapatkan dari proses perekaman selama 4 detik adalah 16000 data. Selanjutnya untuk proses DFT sinyal EMG dilakukan segmentasi data. Tiap segment 3200 data, sehingga terdapat 5 segment.

Diagram Alir prosedur DFT dapat ditulis sebagai berikut :



Gambar 3.13. Sub Program Discrete Fourier Transform

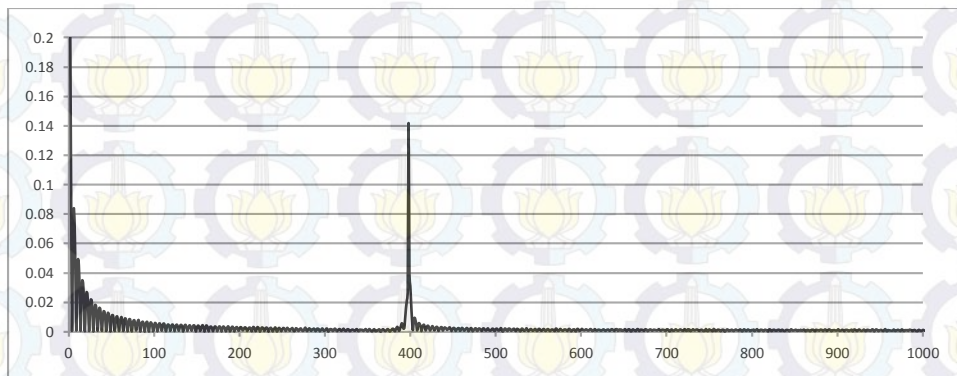
Selanjutnya dilakukan pengujian terhadap program DFT menggunakan sinyal sinus 400Hz dari function generator, dengan bagan percobaan sebagai berikut :



Gambar 3.14. Blok Diagram Bagan Percobaan Pengujian program DFT

ADC internal Mikrokontroler digunakan untuk mengakuisisi data sinyal sinus yang selanjutnya akan dikirim secara serial ke Komputer yang telah dipersiapkan pemrograman DFT seperti ditunjukkan diagram alir DFT. (gambar 3.13.)

Hasil plot data percobaan DFT adalah sebagai berikut :

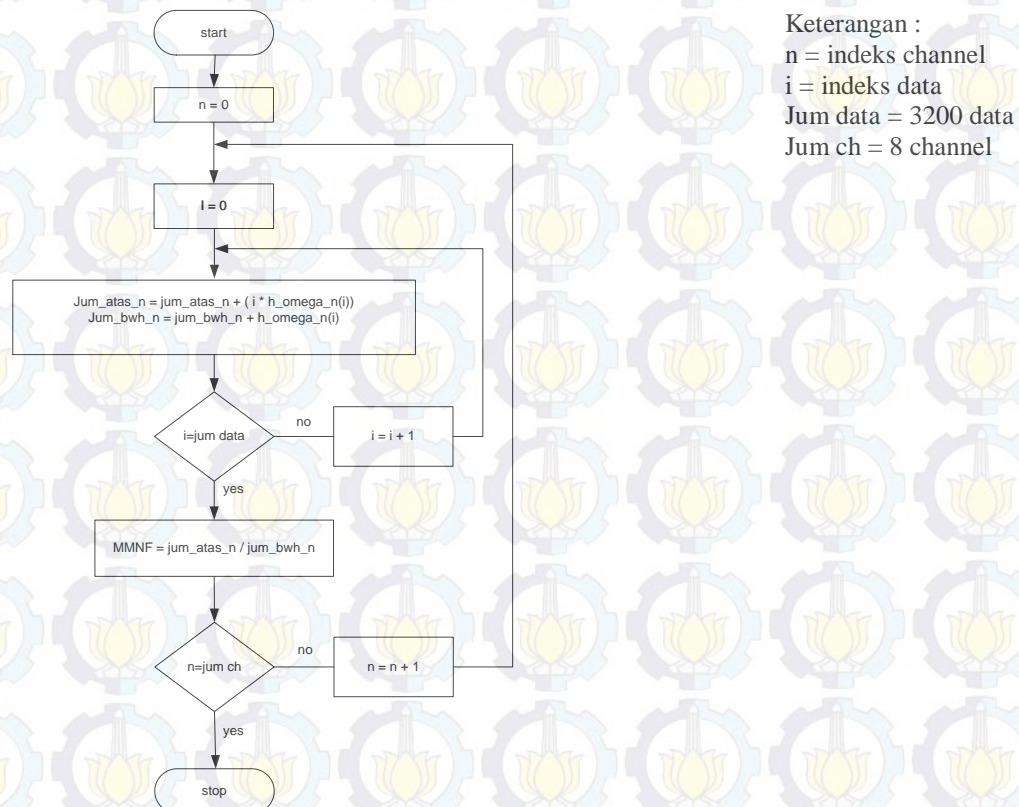


Gambar 3.15. Tampilan Hasil Proses DFT dengan Frekuensi input 400Hz

3.4.2. Modified Mean Frekuensi (MMNF)

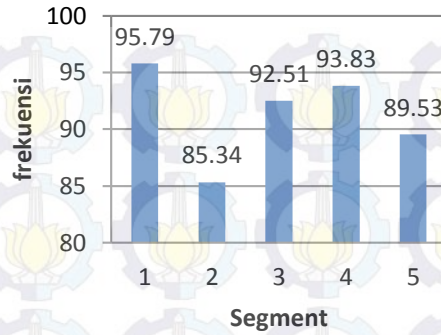
$$MMNF = \frac{\sum_{i=1}^M f_i A_i}{\sum_{i=1}^M A_i}$$

MMNF adalah nilai rata-rata dari Power Frekuensi sebuah sinyal dari $i = 1$ sampai ke M . Prosedur untuk menghitung MMNF adalah sebagai berikut :



Gambar 3.16. Diagram Alir Sub Program MMNF

Berikut adalah contoh hasil perhitungan MMNF dari salah satu otot yang dideteksi :

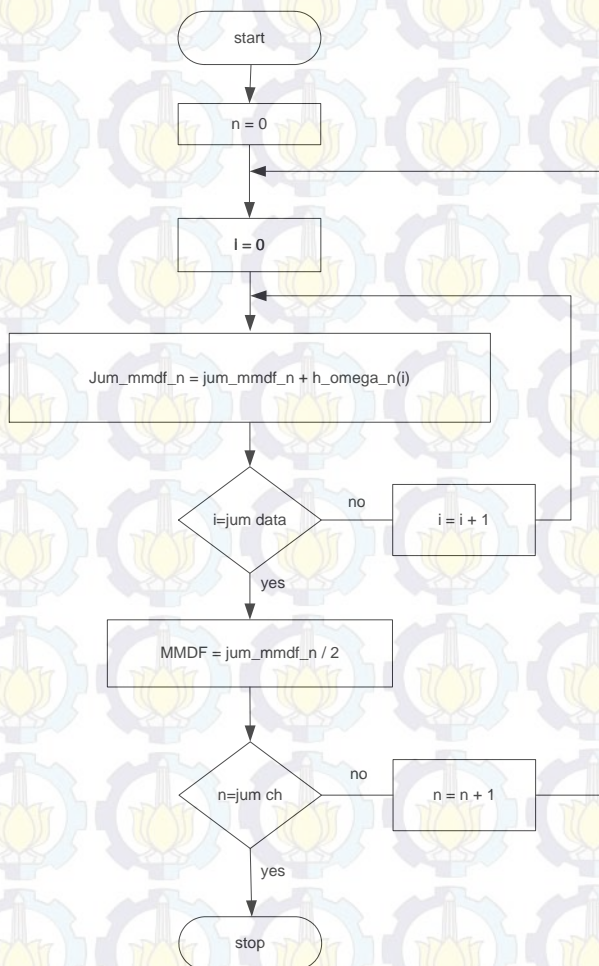


Gambar 3.17. Hasil plot data dari perhitungan MMNF

3.4.3. Modified Median Frequency (MMDF)

$$MMDF = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^M A_j$$

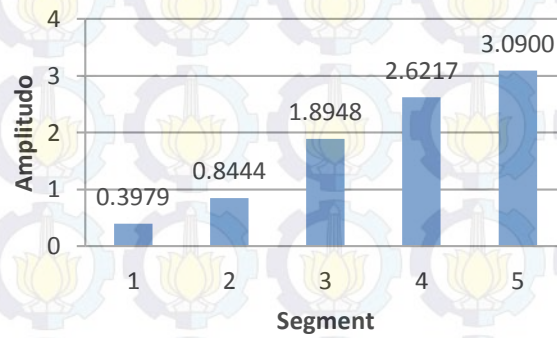
MMDF adalah nilai tengah dari jumlah energi sebuah sinyal pada kawasan frekuensi. Prosedur untuk menghitung MMDF adalah sebagai berikut :



Keterangan :
 n = indeks channel
 i = indeks data
 Jum data = 3200 data
 Jum ch = 8 channel

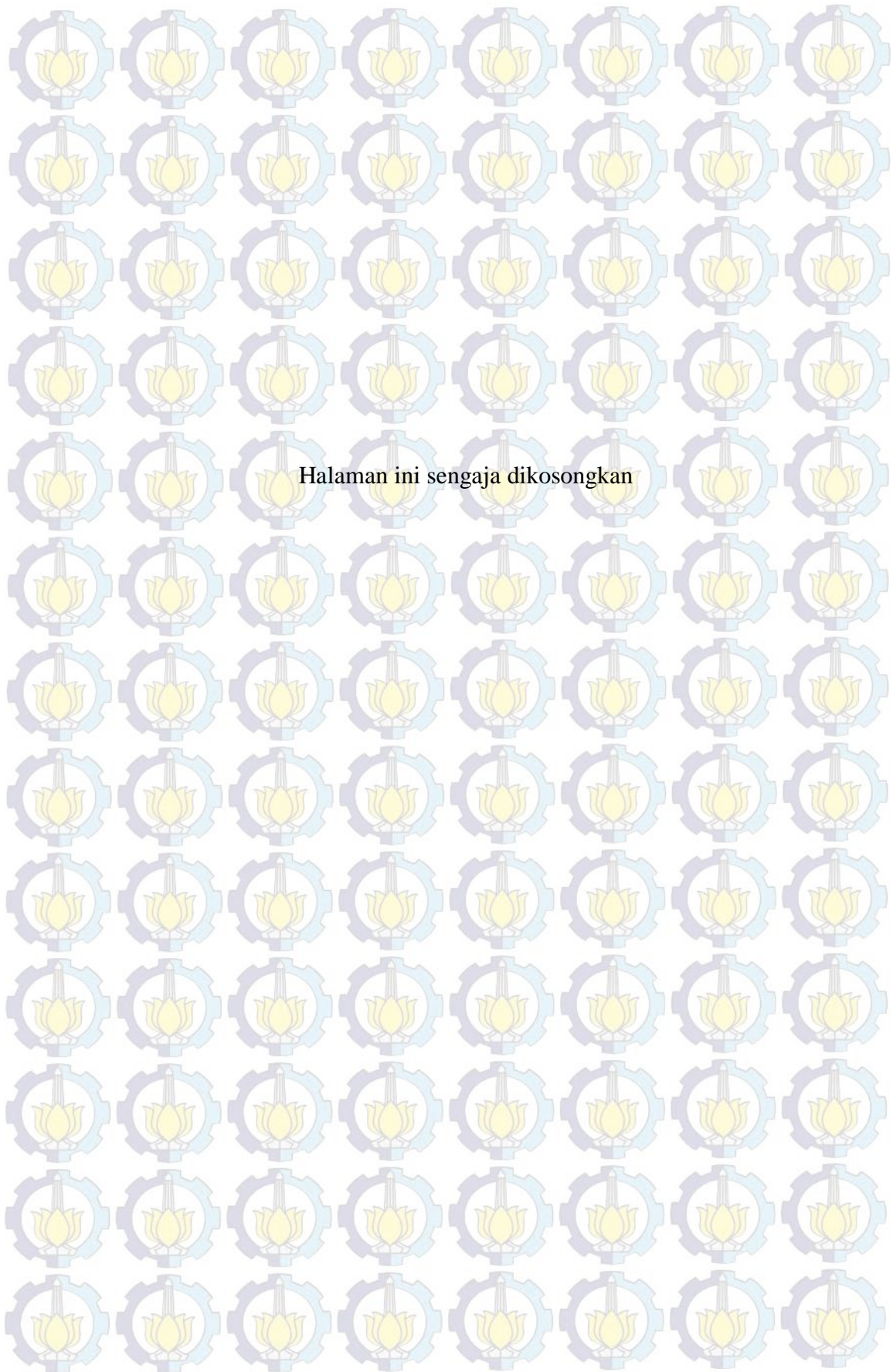
Gambar 3.18. Diagram Alir Sub Program MMDF

Berikut adalah contoh hasil perhitungan MMDF dari salah satu otot yang dideteksi :



Gambar 3.19. Hasil Plot data dari perhitungan MMDF

Dari 5 segment data MMNF dan MMDF yang didapatkan dari masing – masing otot yang dideteksi, selanjutnya akan diambil nilai rata – ratanya, dan menjadi nilai MMNF dan MMDF dari otot pada pola gerakan tertentu.



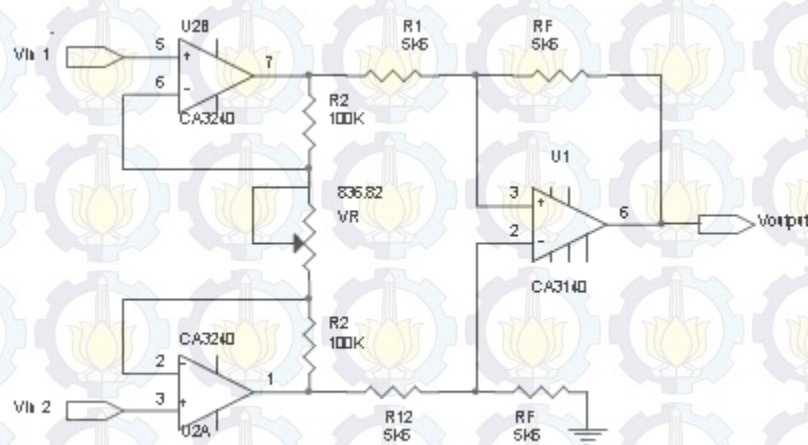
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Beberapa pengujian dilakukan terhadap peralatan yang dibuat. Dimulai dari pengujian rangkaian instrumentasi EMG, rangkaian akuisisi data, dan ekstraksi ciri untuk menunjukkan unjuk kerja sistem.

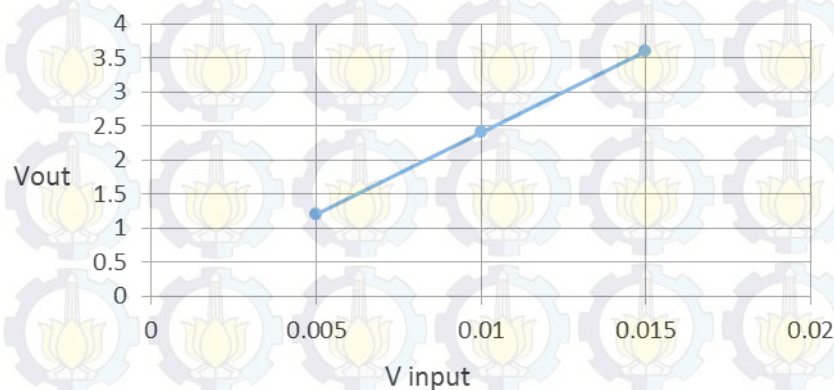
4.1. Pengujian pada rangkaian penguat beda (differential amplifier)



Gambar 4.1. Pengujian Rangkaian Differential Amplifier

Untuk sinyal EMG yang relative kecil 5mV – 10 mV, dipersiapkan penguatan sebesar 240X

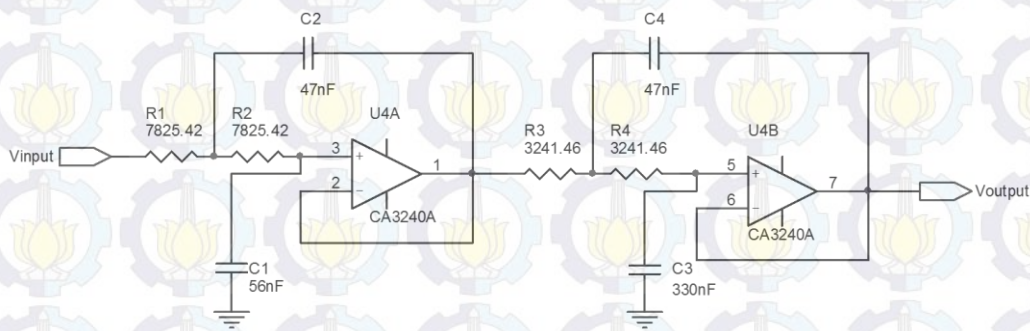
Hasil percobaan :



Gambar 4.2. Hasil Uji Rangkaian *Differential Amplifier*

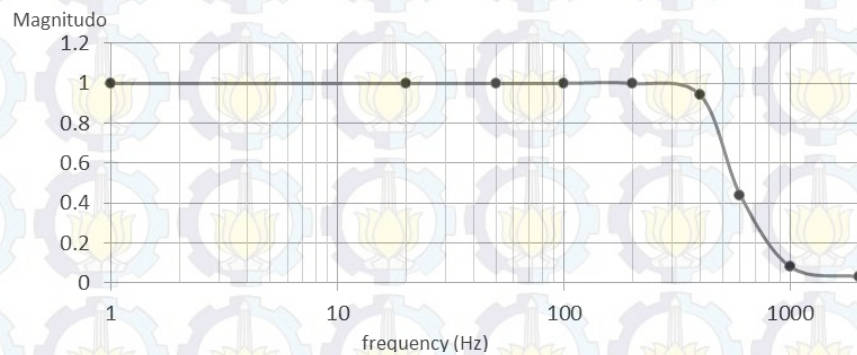
4.2. Pengujian Low Pass Filter

Rangkaian Percobaan Low Pass Filter



Gambar 4.3. Pengujian Rangkaian LPF

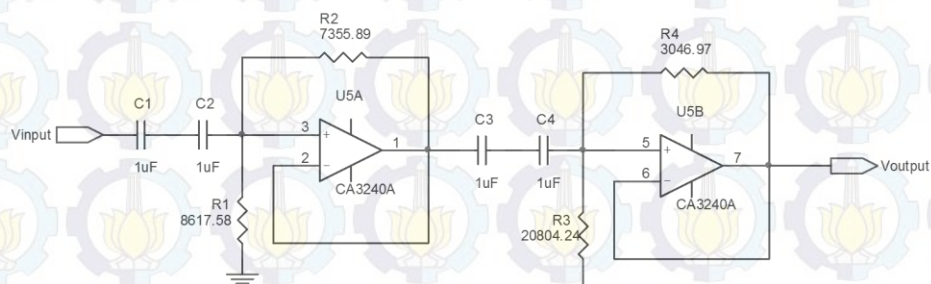
Hasil Percobaan :



Gambar 4.4. Hasil Percobaan LPF ($f_c = 400$)

4.3. Pengujian High Pass Filter

Rangkaian Percobaan HPF orde 4 menggunakan frek cut off 20 Hz



Gambar 4.5. Pengujian Rangkaian HPF

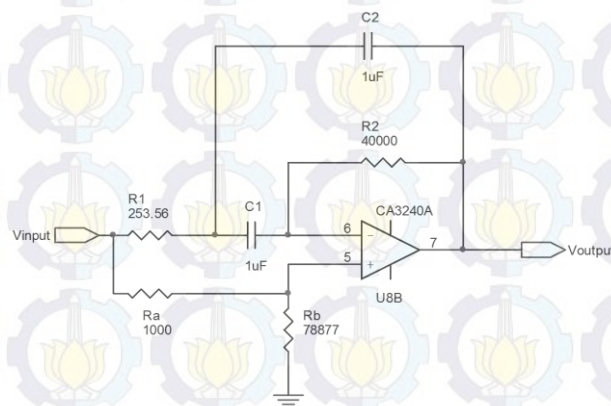
Hasil Percobaan :



Gambar 4.6. Hasil Pengujian HPF orde 4 ($f_c = 500$ Hz)

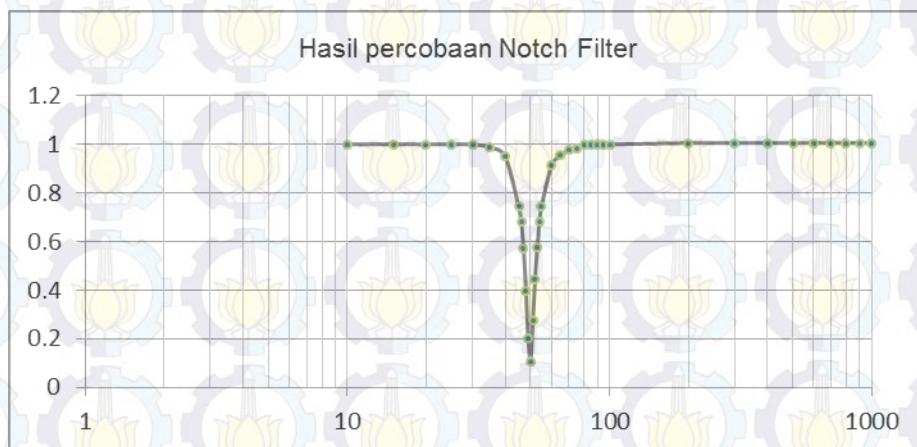
4.4. Pengujian Notch Filter

Rangkaian Percobaan Notch Filter dengan frekuensi cut off 50 Hz



Gambar 4.7. Rangkaian Percobaan Notch Filter

Hasil Percobaan :

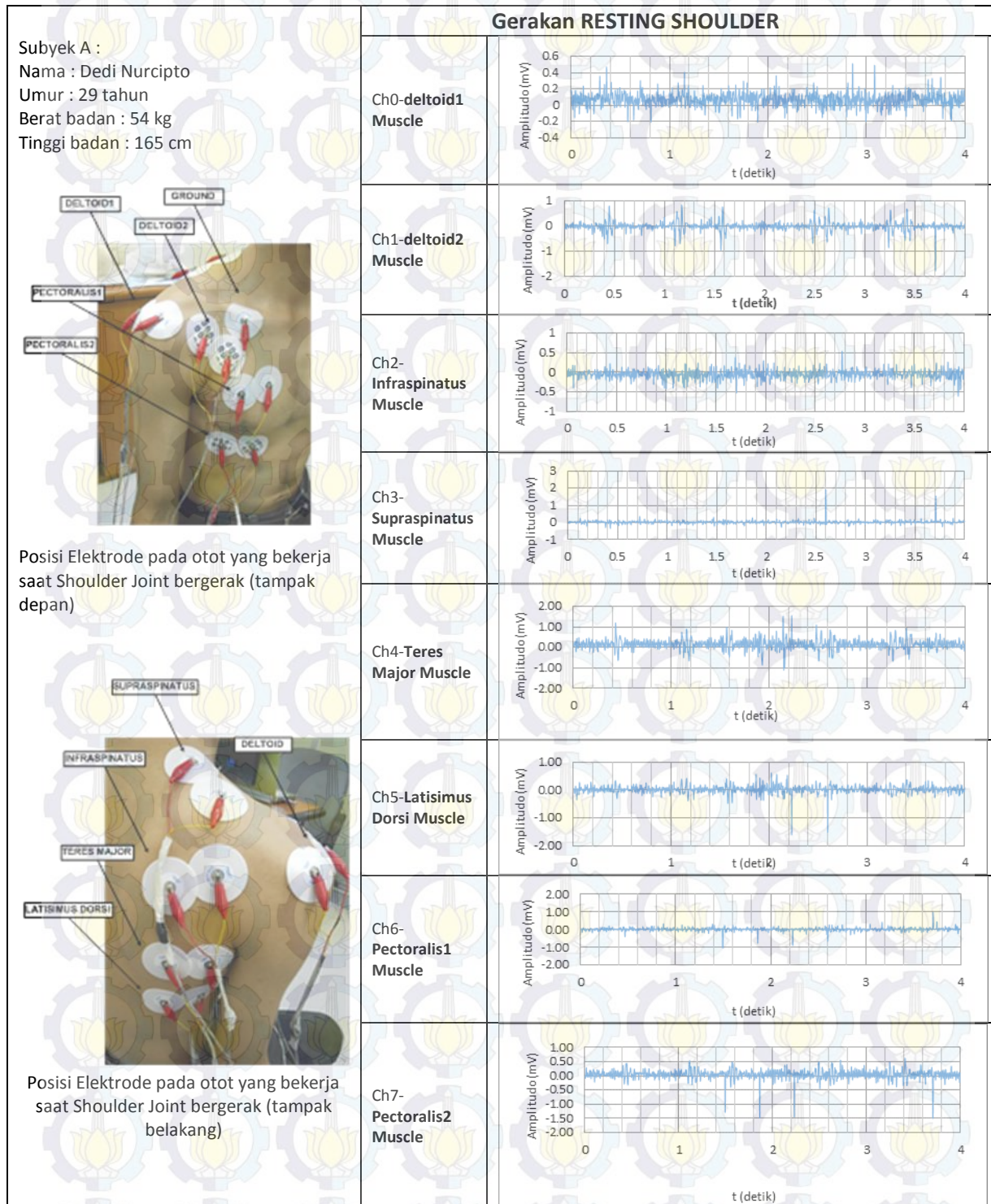


Gambar 4.8. Hasil Pengujian Notch Filter

4.5. Hasil Perekaman Sinyal EMG

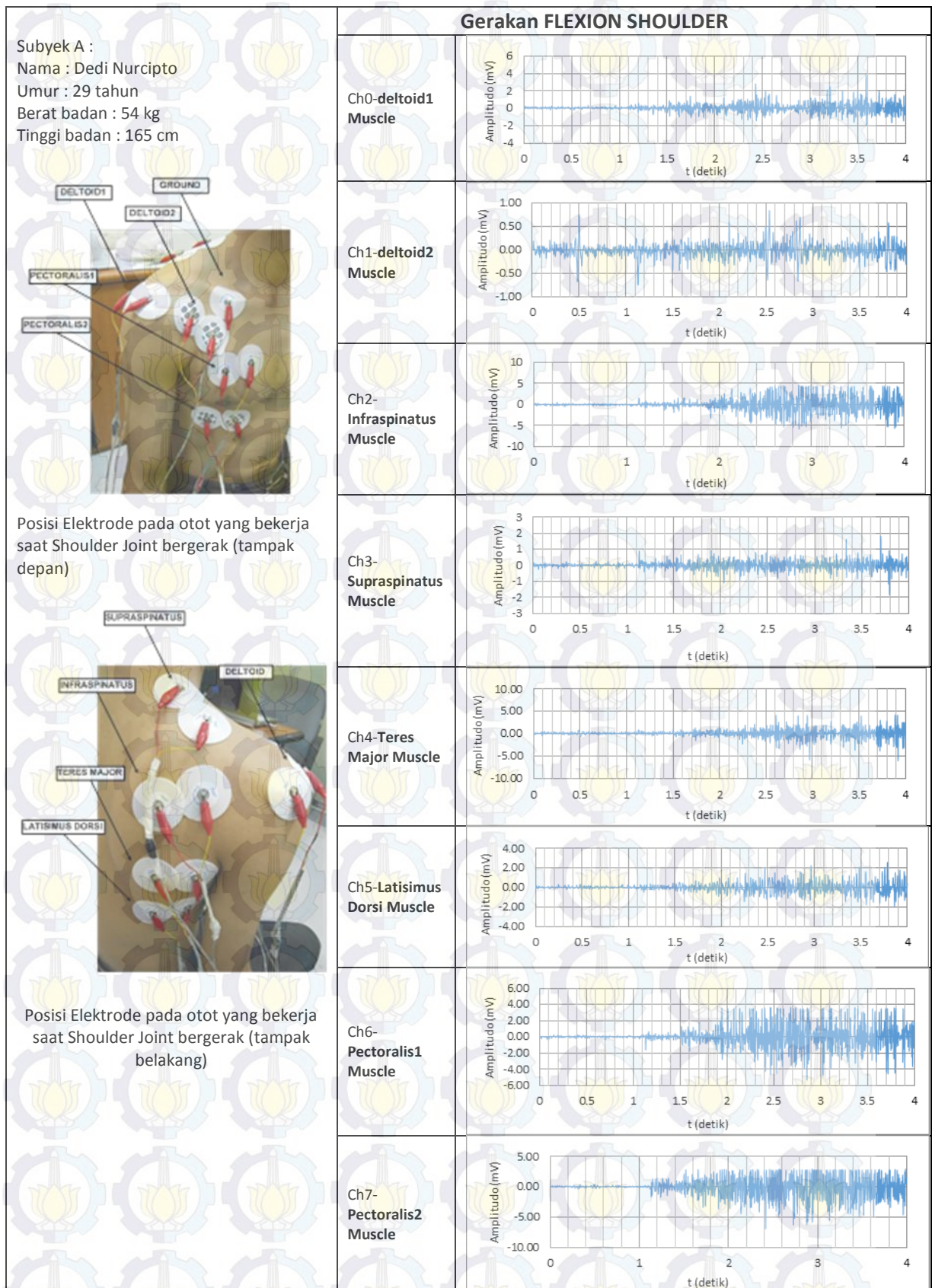
Pengujian dilakukan pada 8 titik otot yang berada pada shoulder joint. Hasil perekaman sinyal akan dianalisa menurut pola gerakan subyek.

4.5.1. Gerakan Resting Shoulder



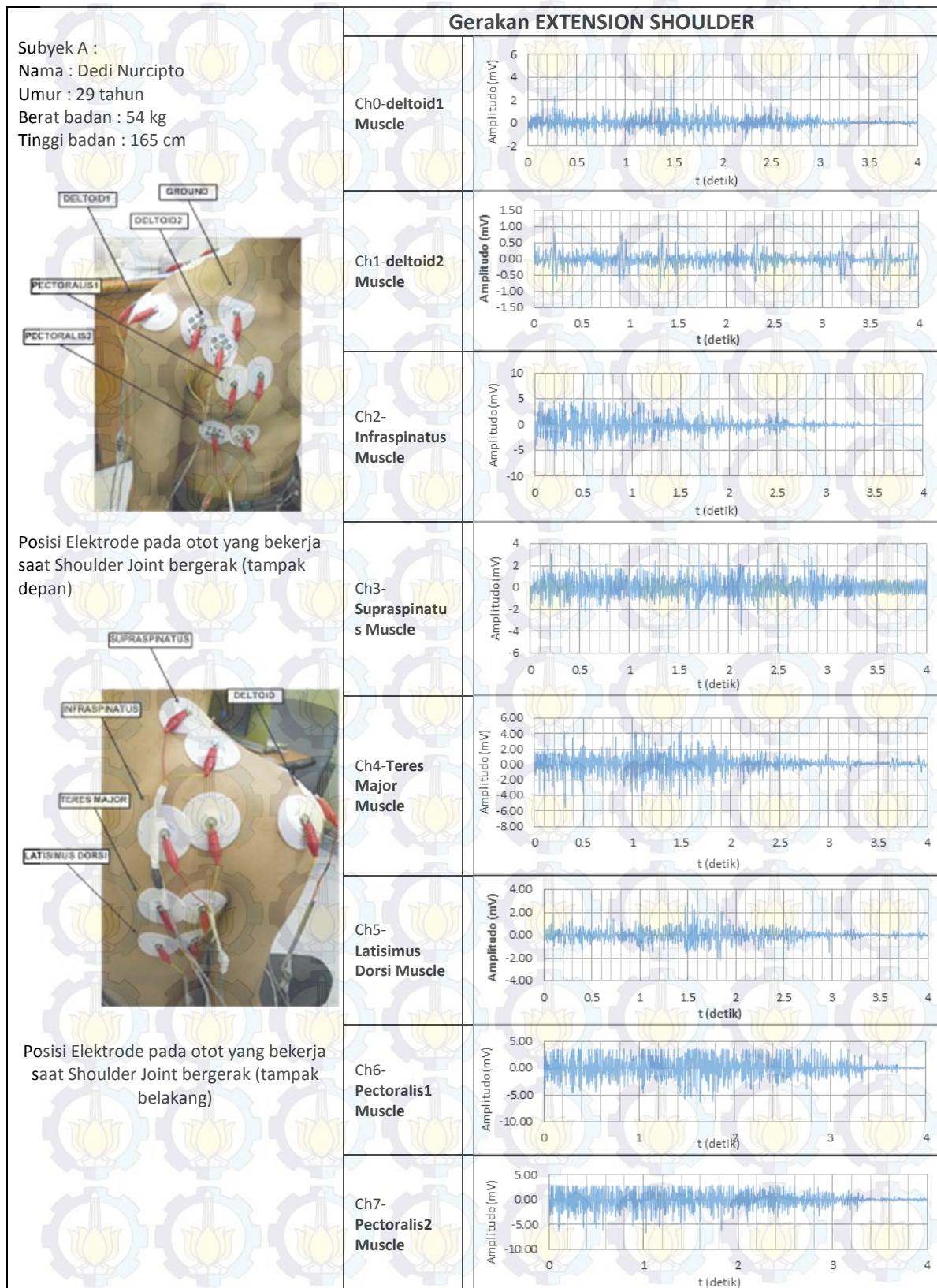
Gambar 4.9. Hasil Perekaman Sinyal EMG Resting Shoulder pada subyek A

4.5.2. Gerakan Flexion Shoulder



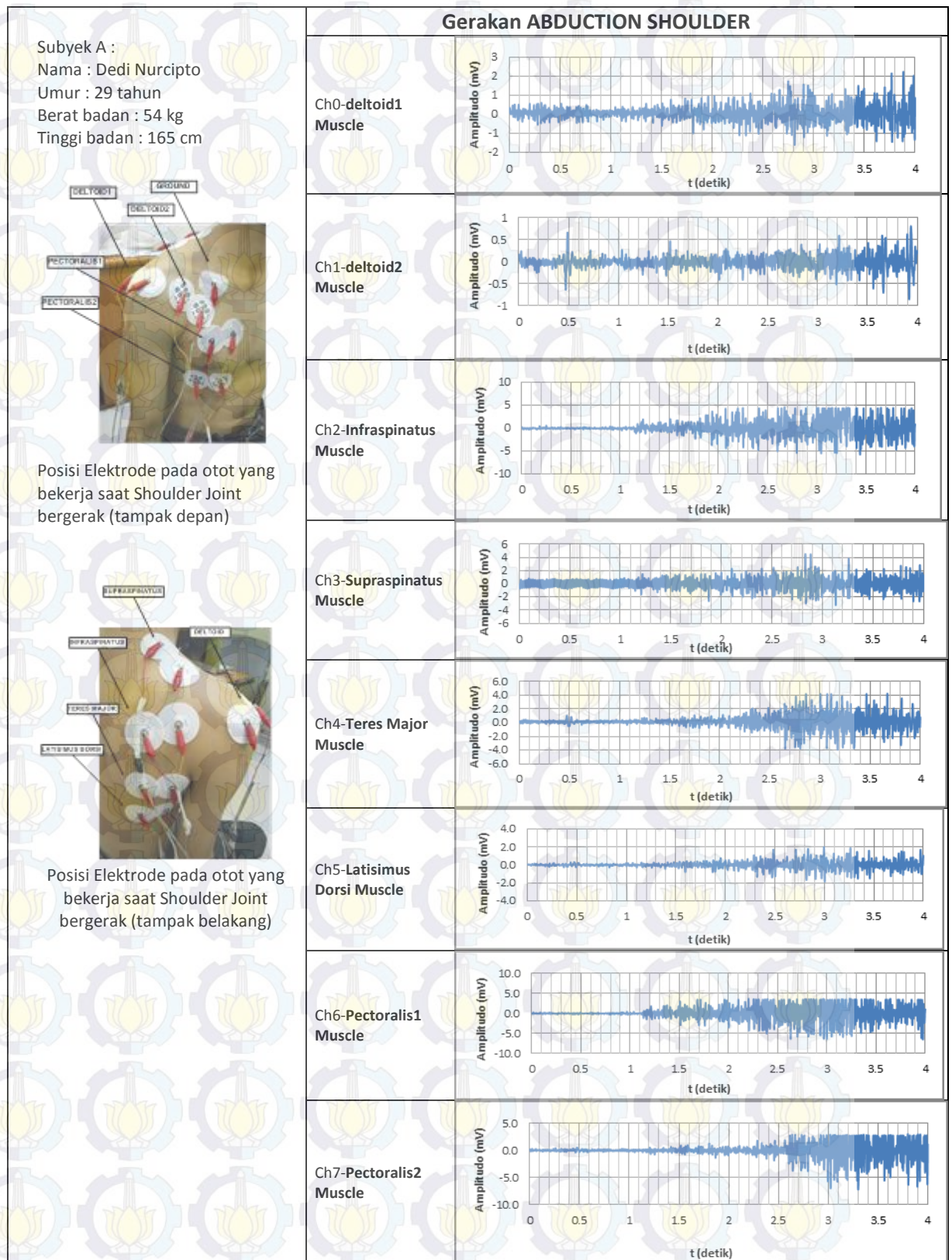
Gambar 4.10. Hasil Perekaman Sinyal EMG Flexion Shoulder pada subyek A

4.5.3. Gerakan Extension Shoulder



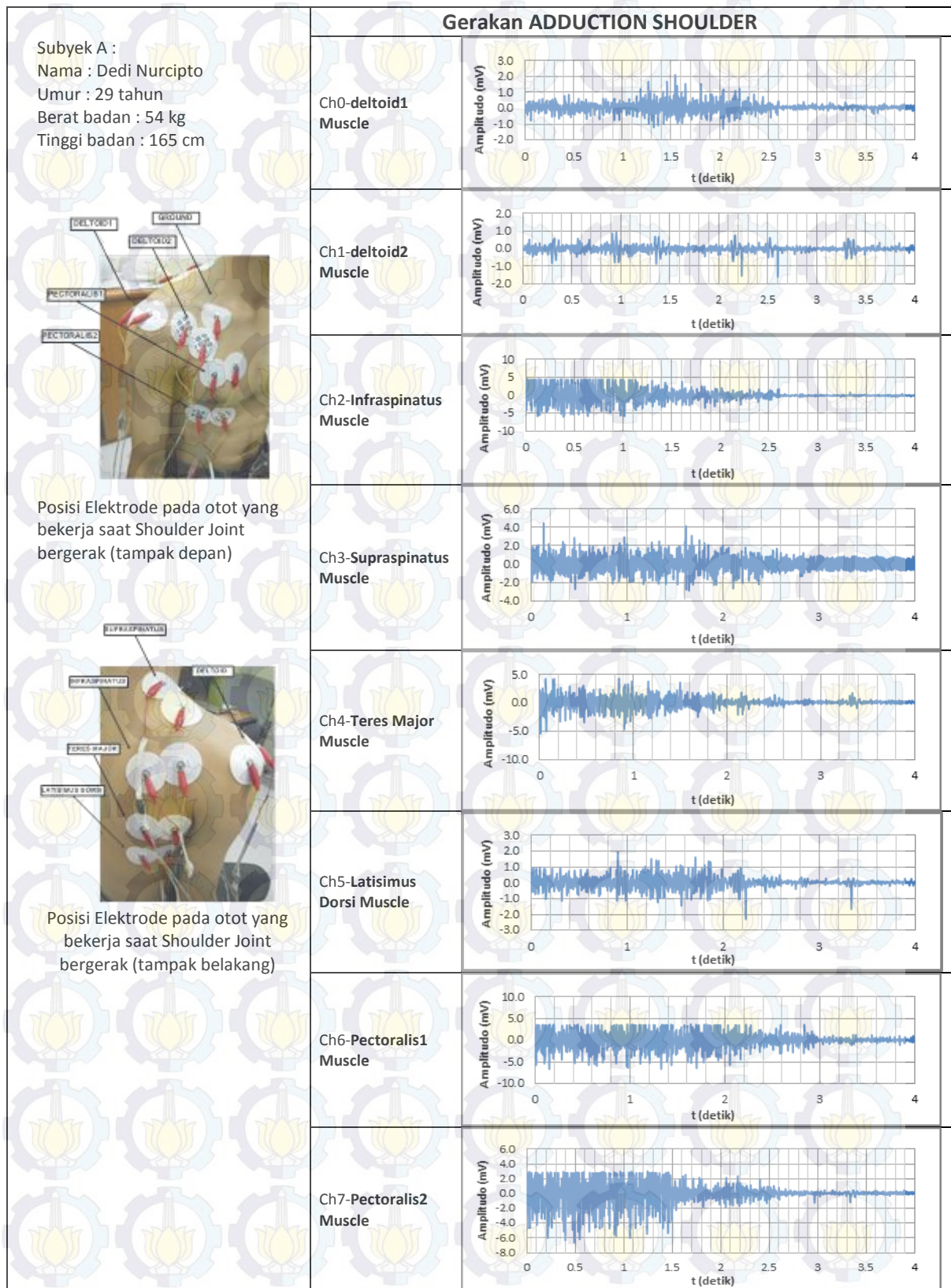
Gambar 4.11. Hasil Perekaman Sinyal EMG Extension Shoulder pada subyek A

4.5.3. Gerakan Abduction Shoulder



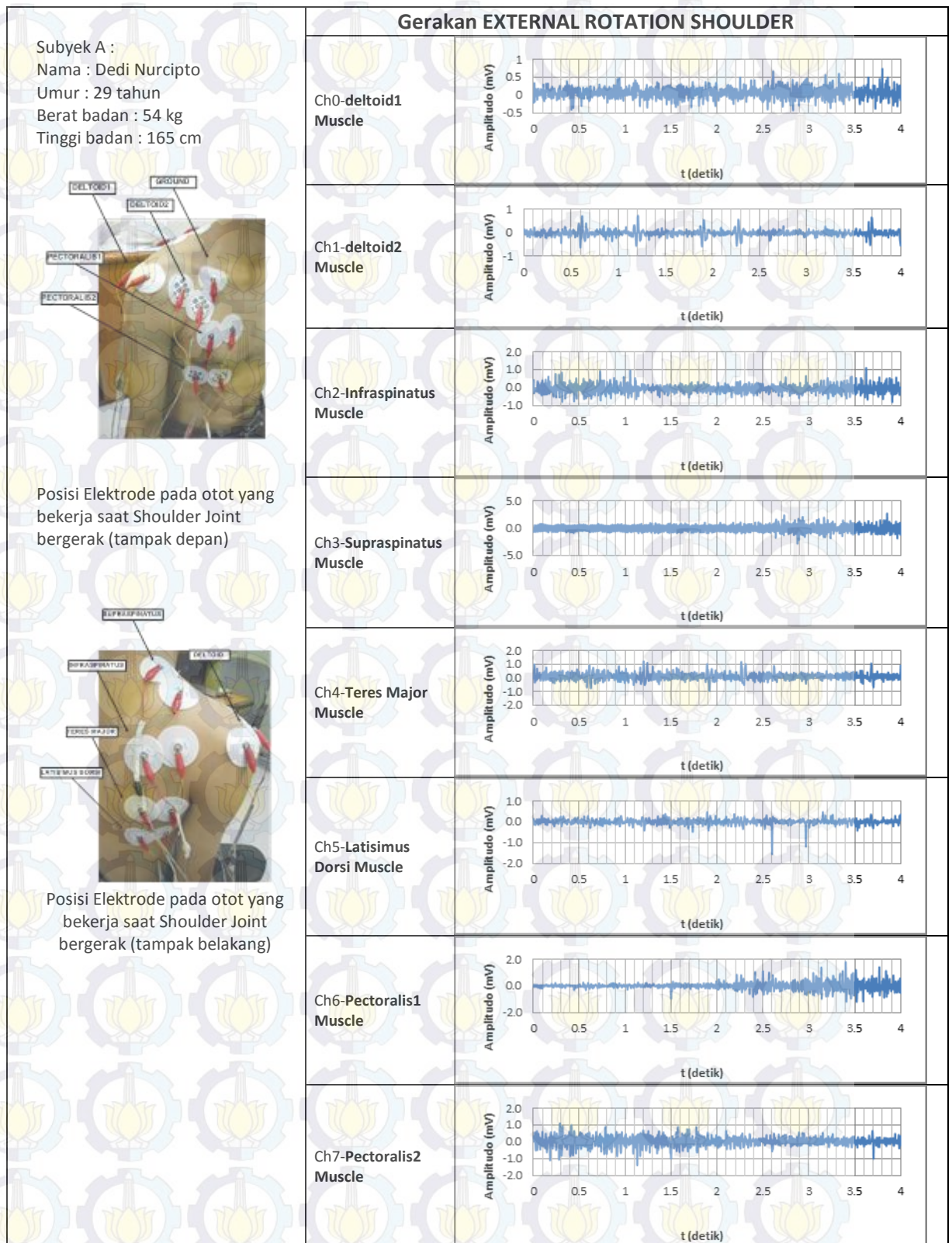
Gambar 4.12. Hasil Perekaman Sinyal EMG Abduction Shoulder pada subyek A

4.5.3. Gerakan Adduction Shoulder



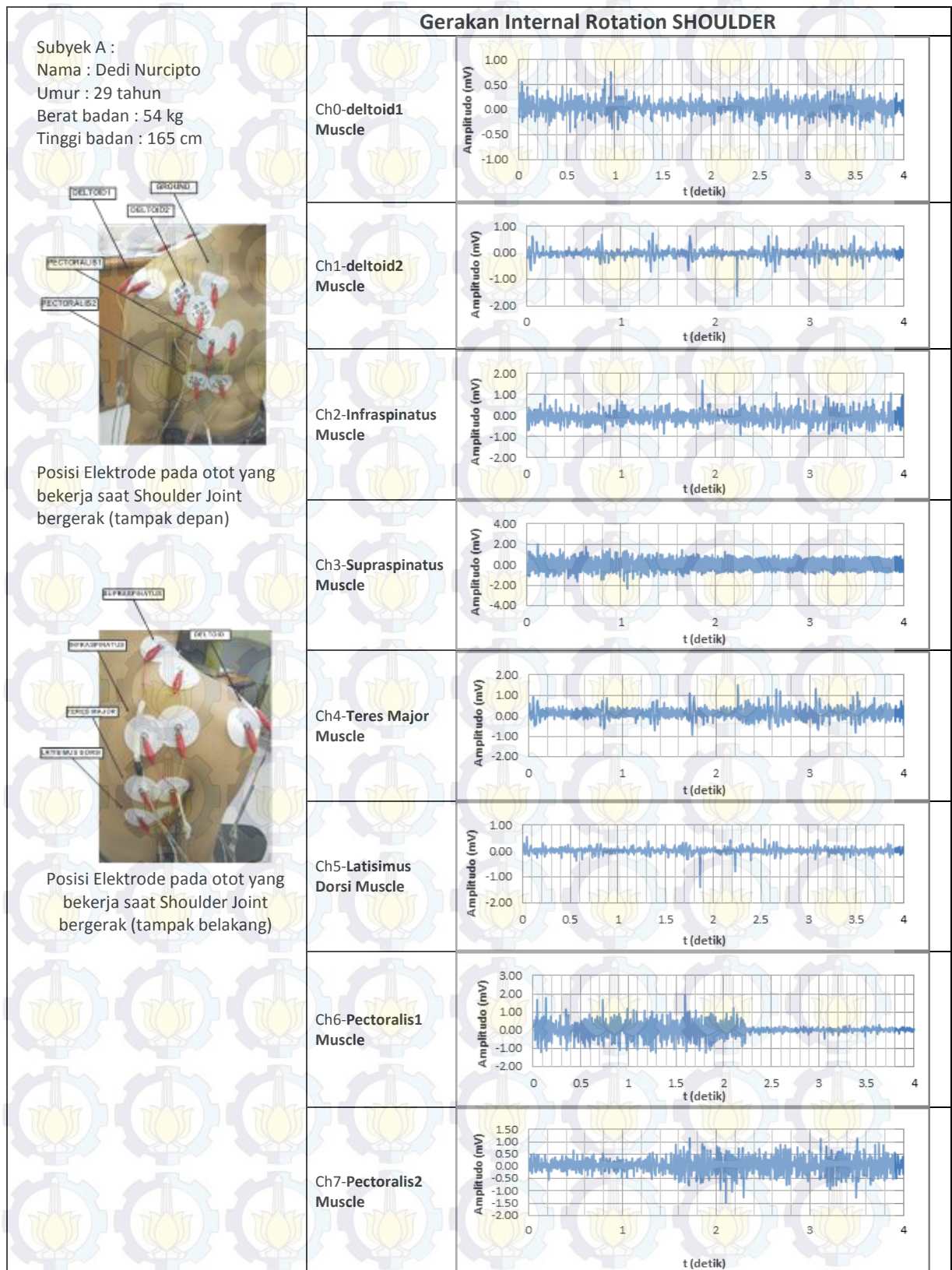
Gambar 4.13. Hasil Perekamannya Sinyal EMG Adduction Shoulder pada subyek A

4.5.3. Gerakan External Rotation Shoulder



Gambar 4.14. Hasil Perekaman Sinyal EMG External Rotation Shoulder pada subyek A

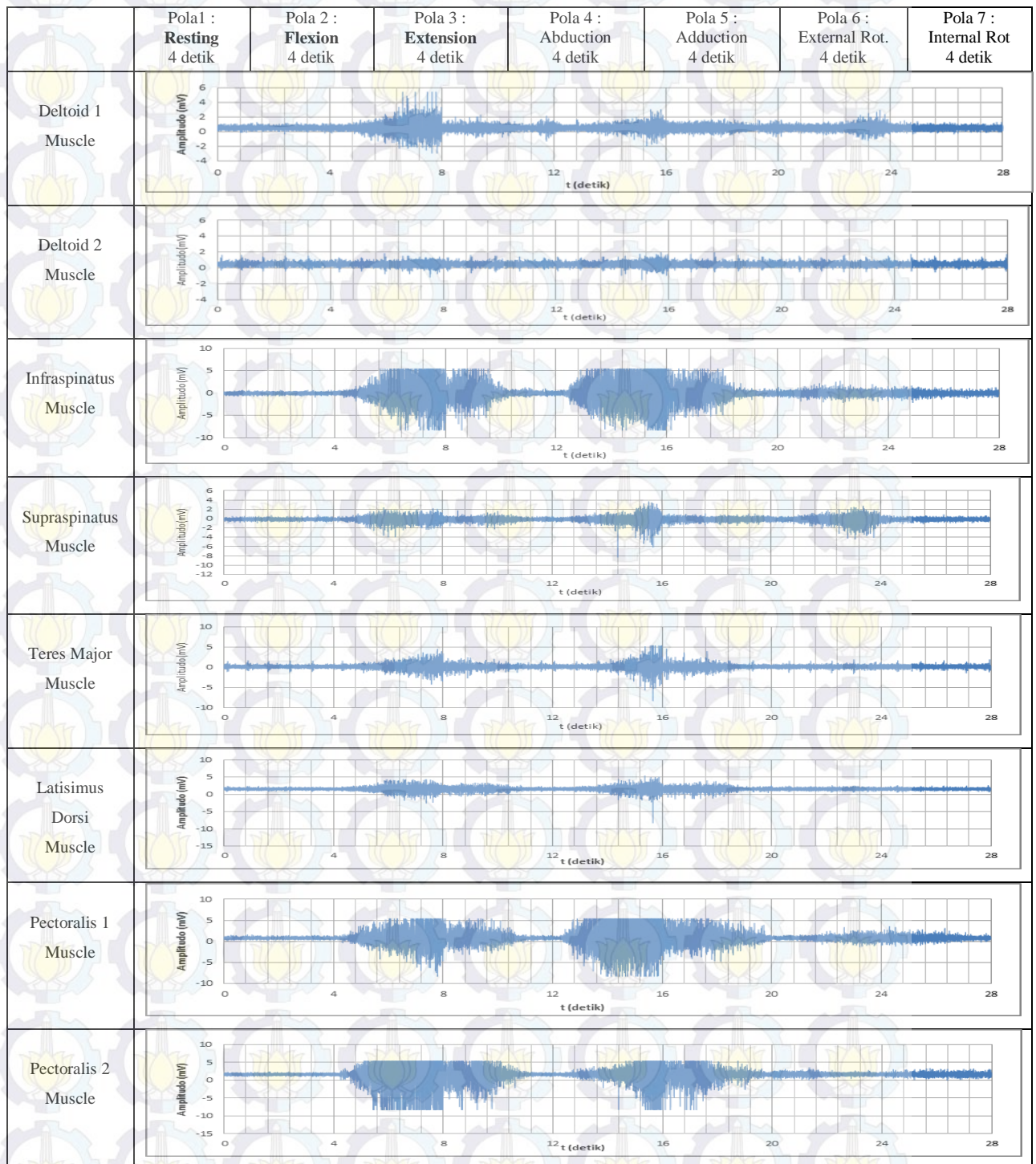
4.5.3. Gerakan Internal Rotation Shoulder



Gambar 4.15. Hasil Perekaman Sinyal EMG Internal Rotation Shoulder pada subyek A

4.6. Hasil Perekaman data Sinyal EMG pada 7 pola gerak.

Perekaman dilakukan pada subyek A, selama 4 detik untuk setiap pola gerak. Hasil perekaman ditunjukkan pada gambar berikut:



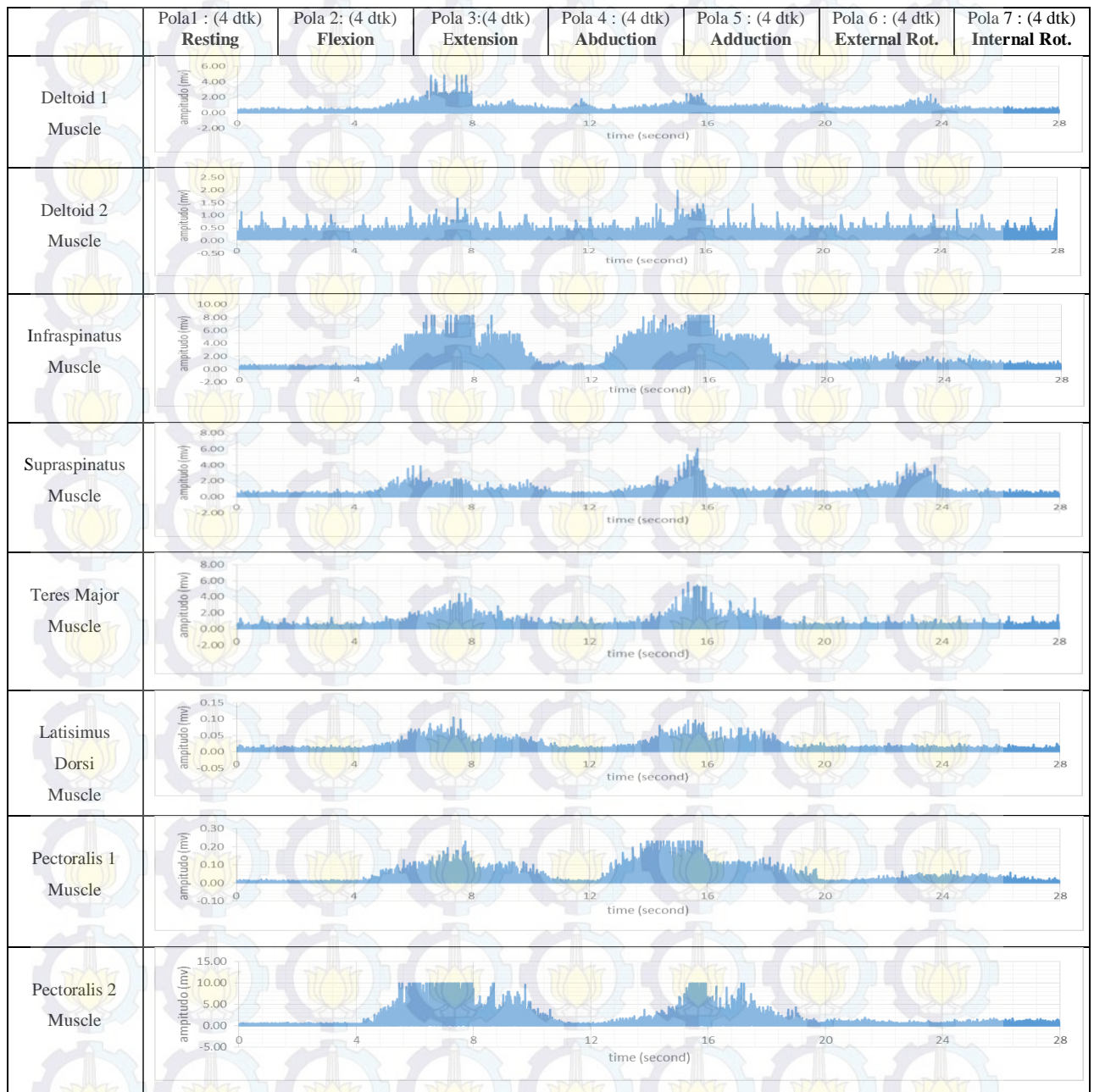
Gambar 4.16. Hasil Perekaman Sinyal EMG 7 pola gerak pada subyek A (Percobaan 1)

4.7. Hasil Proses Ekstraksi Ciri (Rectifier dan Linear Envelope) data Sinyal EMG

Proses Ekstraksi ciri rectifier menggunakan jenis full wave dengan rumusan sebagai berikut :

$$y[i] = |x[i]|$$

Sedangkan hasil yang didapatkan dari 7 pola gerakan pada subyek A adalah sebagai berikut:



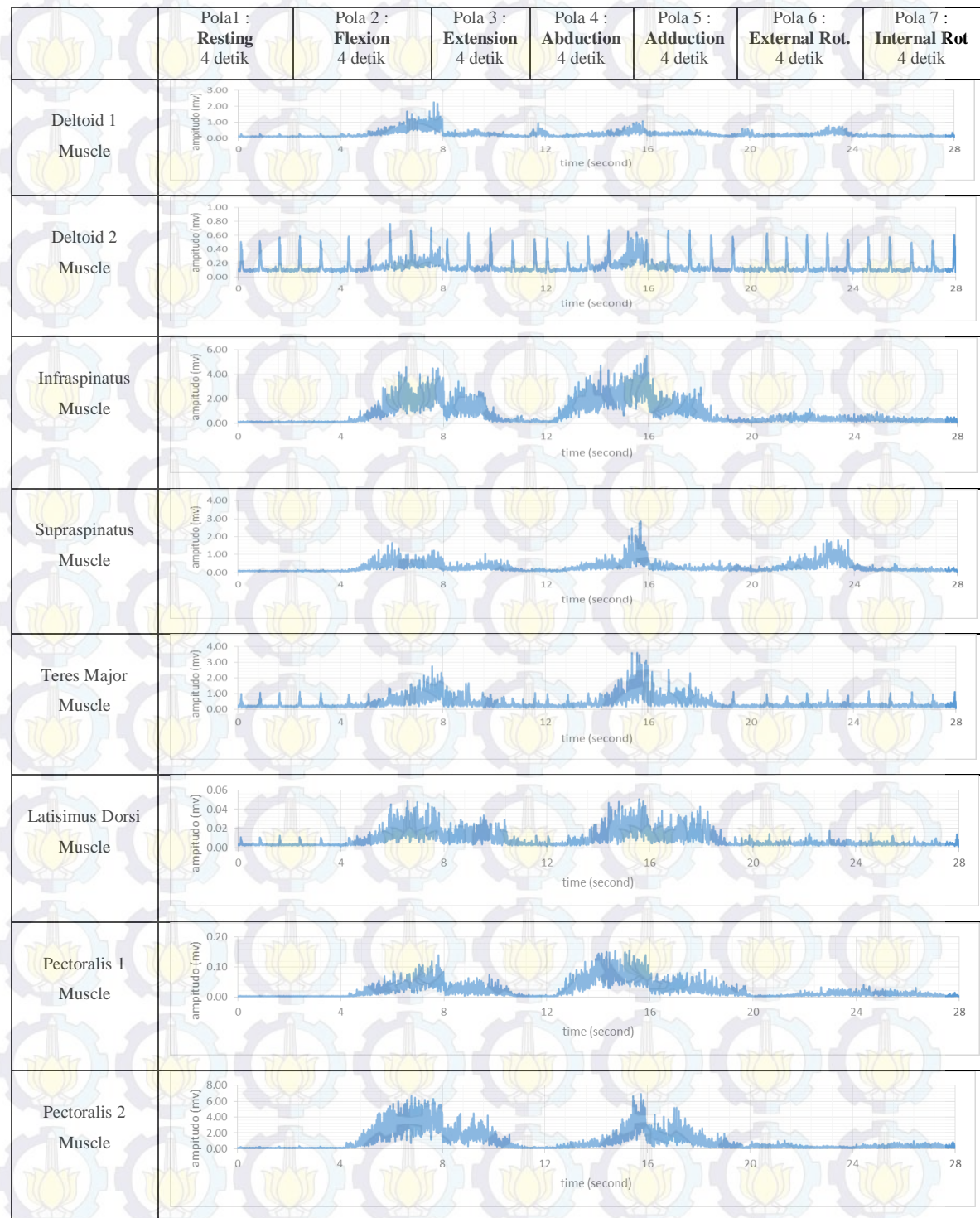
Gambar 4.17. Hasil Proses Rectifier data Sinyal EMG 7 pola gerak pada subyek A (Percobaan 1)

Setelah diproses menggunakan rectifier full wave, selanjutnya data sinyal emg akan diproses menggunakan ekstraksi ciri Linear Envelope dengan orde $M=30$, yang

mempunyai rumusan sebagai berikut :

$$LE[i] = \frac{1}{M} \sum_{j=0}^{M-1} x[i+j]$$

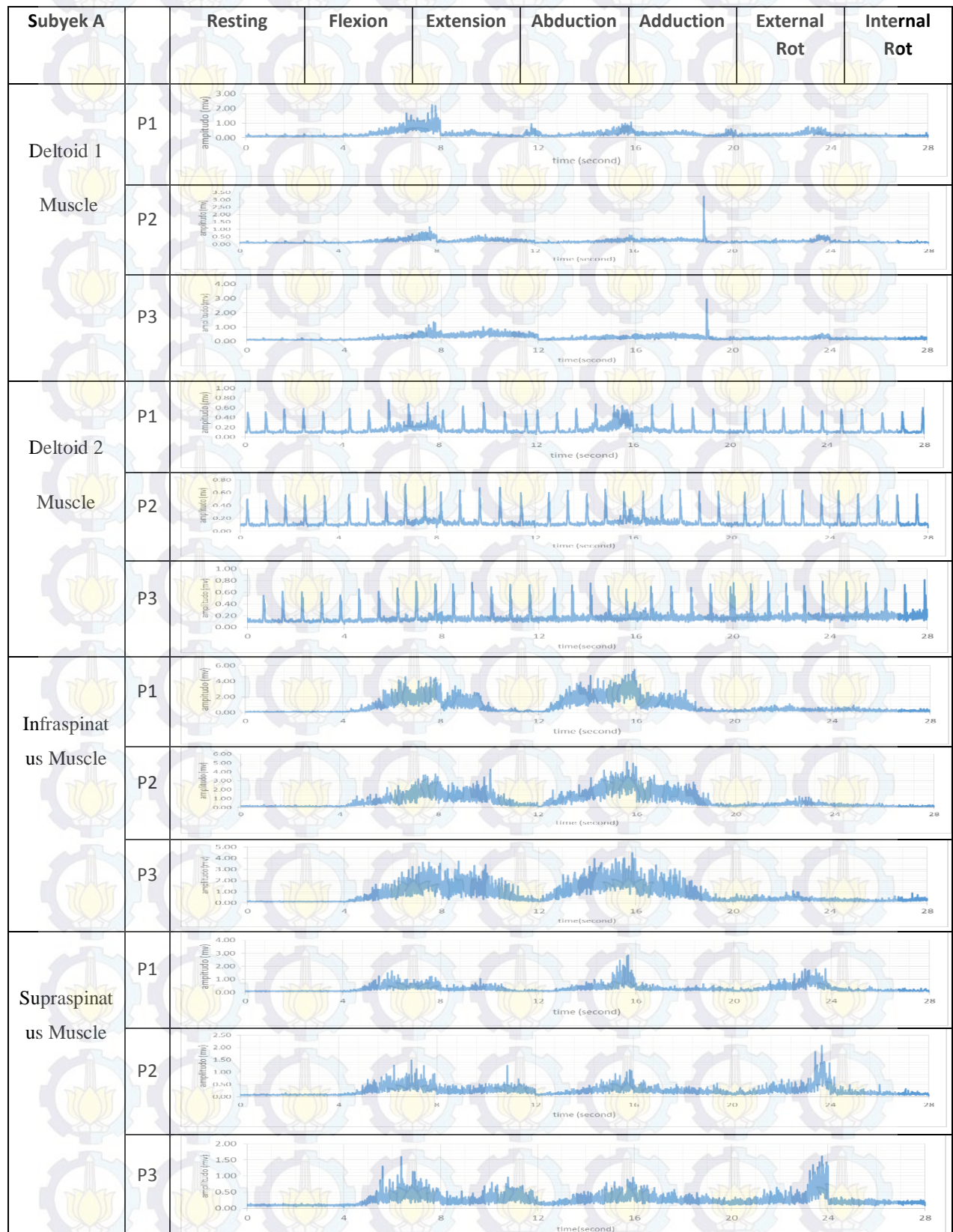
Hasil yang didapatkan dari proses Linear Envelope untuk 7 pola gerak shoulder joint seperti ditunjukkan pada gambar berikut :

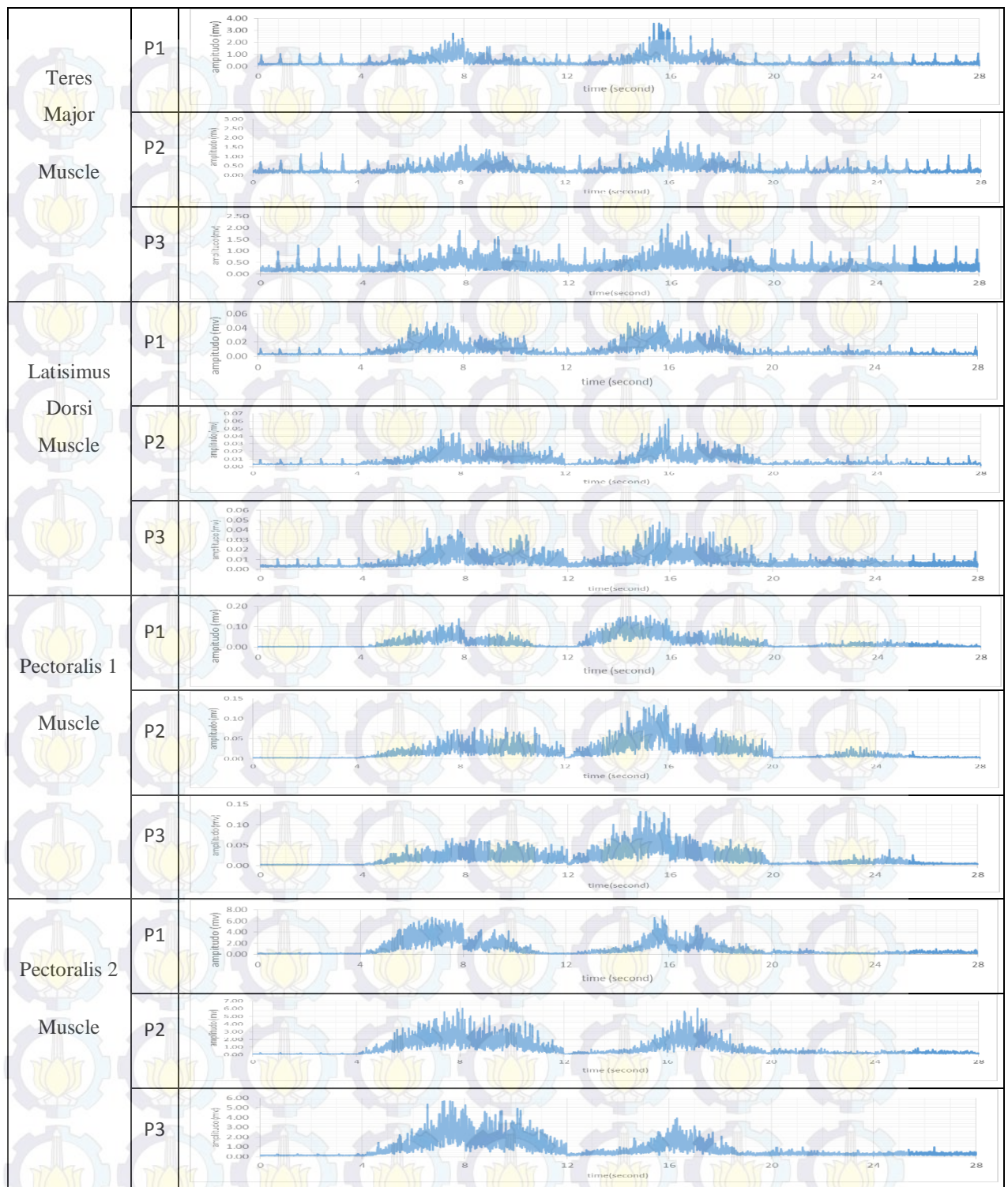


Gambar 4.18. Hasil Proses Linear Envelope data Sinyal EMG 7 pola gerak pada subyek A (Percobaan 1)

Dari subyek A dilakukan 3 kali percobaan (dengan 7 pola gerakan yang sama), menghasilkan data sinyal Linear Envelope sebagai berikut:

(keterangan : P1 = percobaan 1, P2 = percobaan 2, P3 = percobaan 3)





Gambar 4.19. Hasil Proses Linear Envelope data Sinyal EMG 7 pola gerak pada subyek A (Percobaan 1,2,3)

Dari 3 percobaan Sinyal Linear Envelope EMG subyek A seperti ditunjukkan pada gambar diatas mempunyai beberapa ciri yang sangat nampak , yaitu :

Pada otot deltoid 2 terdeteksi artefak dari sinyal jantung dengan amplitude yang besarnya melebihi sinyal EMG. Pada otot teres major dan otot Latisimus Dorsi terdeteksi artefak sinyal jantung yang amplitudonya relative lebih kecil dari sinyal EMG.

Sinyal Linear Envelope pola **resting shoulder** pada semua channel adc atau pada semua otot yang dideteksi mempunyai amplitude yang kecil (pada mayoritas otot dibawah 0,5 mV). Pola resting shoulder adalah posisi lengan lurus ke bawah tanpa aktifitas. Posisi resting digunakan sebagai posisi nol (zero) atau *home base position*. secara lebih detil sinyal EMG yang diuji pada posisi resting shoulder subyek A diuji selama 4 detik, dengan kondisi yang terjadi pada tiap detiknya seperti ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 4.1. Energi Maksimum dan perubahan level energy pola gerak Resting Subyek A.

POLA GERAK RESTING SHOULDER								
otot	detik ke							
	0 sd. 1		1 sd. 2		2 sd. 3		3 sd. 4	
	V max	dv/dt	Vmax	dv/dt	Vmax	dv/dt	vmax	dv/dt
	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)
deltoid 1	0.265	0.026	0.273	-0.016	0.269	0.016	0.284	-0.070
deltoid 2	0.522	0.006	0.575	-0.020	0.593	0.016	0.531	0.096
infraspinatus	0.202	0.009	0.218	0.046	0.238	-0.041	0.191	0.093
supraspinatus	0.140	0.013	0.130	0.008	0.164	-0.040	0.163	0.090
teres major	1.061	0.009	1.052	0.014	1.121	-0.023	1.045	0.083
Latisimus dorsi	0.011	0.000	0.013	0.000	0.011	0.000	0.011	0.072
pectoralis 1	0.004	0.000	0.004	0.000	0.004	0.000	0.004	0.065
pectoralis 2	0.264	0.058	0.291	-0.022	0.359	-0.008	0.293	0.063

Tampak pada tabel 4.1 bahwa pada otot teres major mempunyai energy yang paling tinggi dibandingkan otot yang lain, mencapai amplitude maksimum sekitar 1 mV. Energy EMG pada posisi resting mempunyai nilai Vmax yang hampir sama untuk tiap perubahan waktu pada masing - masing otot yang dideteksi. Nilai Vmax yang hampir sama dikarenakan pada pola gerak resting shoulder mempunyai perubahan amplitude per satuan waktu yang sangat kecil. Pada perhitungan nilai dv/dt pada subyek A mencapai nilai maksimum sebesar 0,09 mV/s terjadi pada detik ke 3 sampai ke 4 di otot deltoid 2, otot infraspinatus, dan otot supraspinatus.

Tabel 4.2. Energi Maksimum dan perubahan level energy pola gerak Resting Subyek A (3 percobaan)

SUBYEK A	dv/dt (mV/s)		V maks (mV)		
	Mean	Mean P1,P2,P3	V maks value	muscle	time
Percobaan1 (P1)	0.0169	0.0067	1.12	Teres Major	2 - 3
Percobaan2 (P2)	0.0016		1.15	Teres Major	1 - 2
Percobaan3 (P3)	0.0016		1.26	Teres Major	1 - 2

Untuk 3 percobaan gerakan resting shoulder yang dilakukan pada subyek A dapat dihitung nilai rata-rata perubahan level energy dan hasilnya seperti ditunjukkan pada table 4.2.

Pola gerak **flexion shoulder** (pada detik ke 4 sampai detik ke 8) adalah gerakan shoulder dari posisi resting menuju ke depan hingga menghadap ke atas (180° dari posisi resting). Pada semua otot mempunyai kecenderungan level energinya semakin besar, dengan beberapa kondisi detil yang terjadi tiap detik seperti ditunjukkan pada tabel 4.3.

Beberapa hal yang menjadi ciri gerakan flexion shoulder adalah :

- Level energy tertinggi pada otot Pectoralis 2. (mencapai 6,669 mV) pada detik ke 2 sampai dengan detik ke 3.
- Pada semua otot mempunyai level energy yang semakin besar sampai dengan detik ketiga, selanjutnya mengalami penurunan energy.

Tabel 4.3. Energi Maksimum dan perubahan level energy pola gerak Flexion Shoulder Subyek A

POLA GERAK FLEXION SHOULDER								
otot	detik ke							
	0 sd. 1		1 sd. 2		2 sd. 3		3 sd. 4	
	V max	dv/dt	Vmax	dv/dt	Vmax	dv/dt	vmax	dv/dt
	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)
deltoid 1	0.294	-0.037	0.755	0.201	1.693	0.120	2.274	0.588
deltoid 2	0.588	0.017	0.769	0.018	0.677	0.016	0.712	0.094
infraspinatus	1.043	0.212	3.029	2.388	4.616	-0.410	4.522	1.181
supraspinatus	0.535	0.173	1.504	0.496	1.662	-0.285	1.236	0.423
teres major	0.941	0.114	1.365	0.185	1.618	0.130	2.747	1.135
Latisimus dorsi	0.012	0.004	0.045	0.010	0.048	-0.002	0.046	-0.012
pectoralis 1	0.035	0.018	0.070	0.009	0.095	0.042	0.140	-0.007
pectoralis 2	2.412	0.847	5.365	2.665	6.669	0.417	6.307	-0.144

Pola gerak **Extension shoulder** (pada detik ke 8 sampai detik ke 12) merupakan gerakan shoulder dari posisi menghadap keatas menuju posisi zero (Resting shoulder). Beberapa data yang diambil pada tiap detik gerak Extension shoulder ditunjukkan pada tabel 4.4.

Beberapa ciri gerakan Extension shoulder subyek A adalah :

- Dari detik ke 0 sampai dengan detik ke 2, energy otot cenderung menjadi lebih besar dan mengalami penurunan pada detik berikutnya.
- Level energy tertinggi pada otot pectoralis 2, mencapai 4,479 mV (seperti ditunjukkan pada table 4.4)

Tabel 4.4. Energi Maksimum dan perubahan level energy pola gerak Extension Shoulder Subyek A

POLA GERAK EXTENSION SHOULDER								
otot	detik ke							
	0 sd. 1		1 sd. 2		2 sd. 3		3 sd. 4	
	V max	dv/dt	Vmax	dv/dt	Vmax	dv/dt	vmax	dv/dt
	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)
deltoid 1	0.536	0.049	0.581	0.109	0.412	-0.187	0.961	0.051
deltoid 2	0.640	0.285	0.709	-0.295	0.527	-0.014	0.552	0.009
infraspinatus	3.449	0.128	2.609	0.280	0.818	-0.673	0.641	-0.024
supraspinatus	0.612	0.136	1.058	0.357	0.719	-0.509	0.257	0.036
teres major	1.646	0.851	1.668	-1.106	0.809	-0.233	1.047	-0.149
Latisimus dorsi	0.030	0.010	0.034	-0.006	0.029	-0.008	0.013	0.000
pectoralis 1	0.064	-0.007	0.075	0.033	0.058	-0.045	0.009	-0.001
pectoralis 2	4.439	-0.806	4.479	0.560	2.215	0.014	0.400	-0.182

Pola gerakan **Abduction shoulder** (pada detik ke 12 sampai detik ke 16) adalah gerakan shoulder joint dari posisi resting bergerak menuju ke samping badan sampai mencapai maksimum menghadap keatas (180 ° dari posisi resting).

Detil data yang diambil pada tiap detiknya ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 4.5. Energi Maksimum dan perubahan level energi pola gerak Abduction Shoulder Subyek A

POLA GERAK ABDUCTION SHOULDER								
otot	detik ke							
	0 sd. 1		1 sd. 2		2 sd. 3		3 sd. 4	
	V max	dv/dt	Vmax	dv/dt	Vmax	dv/dt	vmax	dv/dt
	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)
deltoid 1	0.441	0.004	0.473	0.018	0.568	0.138	1.078	0.150
deltoid 2	0.560	0.005	0.592	0.061	0.683	0.175	0.656	0.315
infraspinatus	2.263	0.004	3.917	0.768	4.758	1.258	5.531	1.381
supraspinatus	0.317	0.004	0.824	0.182	0.993	0.313	2.859	0.152
teres major	0.985	0.004	1.033	0.158	1.979	0.827	3.610	1.359
Latisimus dorsi	0.013	0.004	0.024	0.006	0.048	0.017	0.050	0.008
pectoralis 1	0.079	0.004	0.141	0.048	0.154	0.009	0.156	0.005
pectoralis 2	0.722	0.004	1.347	0.167	3.121	0.841	6.918	0.039

Beberapa ciri pola gerakan abduction shoulder adalah sebagai berikut :

- pada semua otot mempunyai kecenderungan level energinya semakin tinggi.
- Level energy tertinggi pada otot Infraspinatus (mencapai 5,531 mV) dan otot pectoralis2 (mencapai 6,918 mV).

Pola gerakan **Adduction shoulder** (pada detik ke 16 sampai detik ke 20) adalah gerakan dari posisi shoulder menghadap keatas kembali menuju posisi resting dari arah samping badan. Detil data yang diambil pada tiap detiknya ditunjukkan pada tabel 4.6.

Terdapat beberapa ciri gerakan Adduction shoulder sebagai berikut :

- pada semua otot mempunyai kecenderungan level energinya semakin rendah dari detik ke 0 sampai detik ke 2, kecuali otot pectoralis 2. Selanjutnya beberapa otot mengalami kenaikan energy pada detik ke 3, dan mengalami penurunan kembali pada detik ke 4.
- Level energy tertinggi pada otot Pectoralis2. (mencapai 5,186 mV pada detik ke 2)

Tabel 4.6. Energi Maksimum dan perubahan level energi pola gerak Adduction Shoulder Subyek A

POLA GERAK ADDUCTION SHOULDER								
otot	detik ke							
	0 sd. 1		1 sd. 2		2 sd. 3		3 sd. 4	
	V max	dv/dt	Vmax	dv/dt	Vmax	dv/dt	vmax	dv/dt
	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)
deltoid 1	0.446	-0.251	0.525	0.039	0.501	-0.036	0.616	-0.110
deltoid 2	0.670	-0.124	0.680	-0.015	0.604	-0.011	0.584	-0.022
infraspinatus	3.673	-0.238	2.820	-0.834	2.951	-0.128	0.646	-0.259
supraspinatus	0.749	-0.316	0.520	-0.017	0.663	-0.053	0.549	-0.052
teres major	2.539	-0.055	2.307	0.055	1.100	-0.323	1.113	-0.021
Latisimus dorsi	0.039	-0.001	0.043	-0.004	0.037	-0.004	0.013	-0.003
pectoralis 1	0.080	-0.016	0.082	-0.006	0.093	-0.017	0.045	-0.003
pectoralis 2	4.294	0.987	5.186	-0.986	2.606	1.223	1.854	-1.808

Pola gerakan **External Rotation** (pada detik ke 20 sampai detik ke 24) adalah gerakan shouder joint berputar pada sendinya menuju arah meninggalkan badan (maksimum gerakan sampai 120° ditempuh dalam 4 detik). Data detil untuk tiap detik seperti ditunjukkan pada table berikut:

Tabel 4.7. Energi Maksimum dan perubahan level energi pola gerak External Rotation Shoulder Subyek A

POLA GERAK EXTERNAL ROTATION SHOULDER								
otot	detik ke							
	0 sd. 1		1 sd. 2		2 sd. 3		3 sd. 4	
	V max	dv/dt	Vmax	dv/dt	Vmax	dv/dt	vmax	dv/dt
	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)
deltoid 1	0.524	-0.208	0.346	-0.007	0.678	0.288	0.793	-0.292
deltoid 2	0.634	-0.017	0.572	-0.042	0.637	0.536	0.633	-0.550
infraspinatus	0.665	0.165	0.989	-0.072	1.148	0.021	0.756	0.335
supraspinatus	0.384	0.156	0.990	0.274	1.810	0.256	1.831	-0.622
teres major	0.978	0.124	0.840	-0.031	1.067	0.547	1.237	-0.911
Latisimus dorsi	0.015	0.003	0.012	-0.002	0.018	0.003	0.010	-0.006
pectoralis 1	0.007	0.002	0.021	0.001	0.033	0.010	0.030	-0.010
pectoralis 2	0.928	-0.040	1.039	-0.291	0.393	0.178	0.387	-0.279

beberapa ciri gerakan external rotation shoulder adalah :

- Mengalami kenaikan level energy pada otot supraspinatus mulai dari detik ke 0 sampai detik ke 4 (mencapai 1,831 mV).
- Mengalami penurunan level energy pada otot pectoralis2 dari detik ke 2 sampai detik ke 4.

Pola gerakan **Internal Rotation** (pada detik ke 24 sampai detik ke 28) adalah gerakan berputar pada sendi Shoulder dari arah luar menuju ke badan dan kembali pada posisi resting. Berikut adalah beberapa data yang diambil setiap detik pada gerakan Internal Rotation yang ditempuh selama 4 detik.

Tabel 4.8. Energi Maksimum dan perubahan level energi pola gerak Internal Rotation Shoulder

Subyek A

POLA GERAK INTERNAL ROTATION SHOULDER								
otot	detik ke							
	0 sd. 1		1 sd. 2		2 sd. 3		3 sd. 4	
	V max (mV)	dv/dt (mV/s)	Vmax (mV)	dv/dt (mV/s)	Vmax (mV)	dv/dt (mV/s)	vmax (mV)	dv/dt (mV/s)
deltoid 1	0.386	0.054	0.310	0.006	0.311	-0.024	0.358	-0.018
deltoid 2	0.578	-0.024	0.580	0.006	0.500	0.007	0.609	0.043
infraspinatus	0.959	-0.014	0.757	-0.262	0.525	-0.075	0.548	-0.069
supraspinatus	0.466	-0.121	0.483	-0.081	0.298	0.014	0.337	-0.156
teres major	1.151	-0.127	1.042	-0.031	1.093	0.087	1.106	-0.157
latissimus dorsi	0.016	0.000	0.012	0.000	0.012	0.000	0.014	-0.002
pectoralis 1	0.041	0.005	0.026	-0.010	0.031	-0.008	0.015	0.000
pectoralis 2	0.684	0.004	0.839	0.243	0.992	-0.046	0.865	-0.170

Beberapa ciri gerakan Internal Rotation adalah:

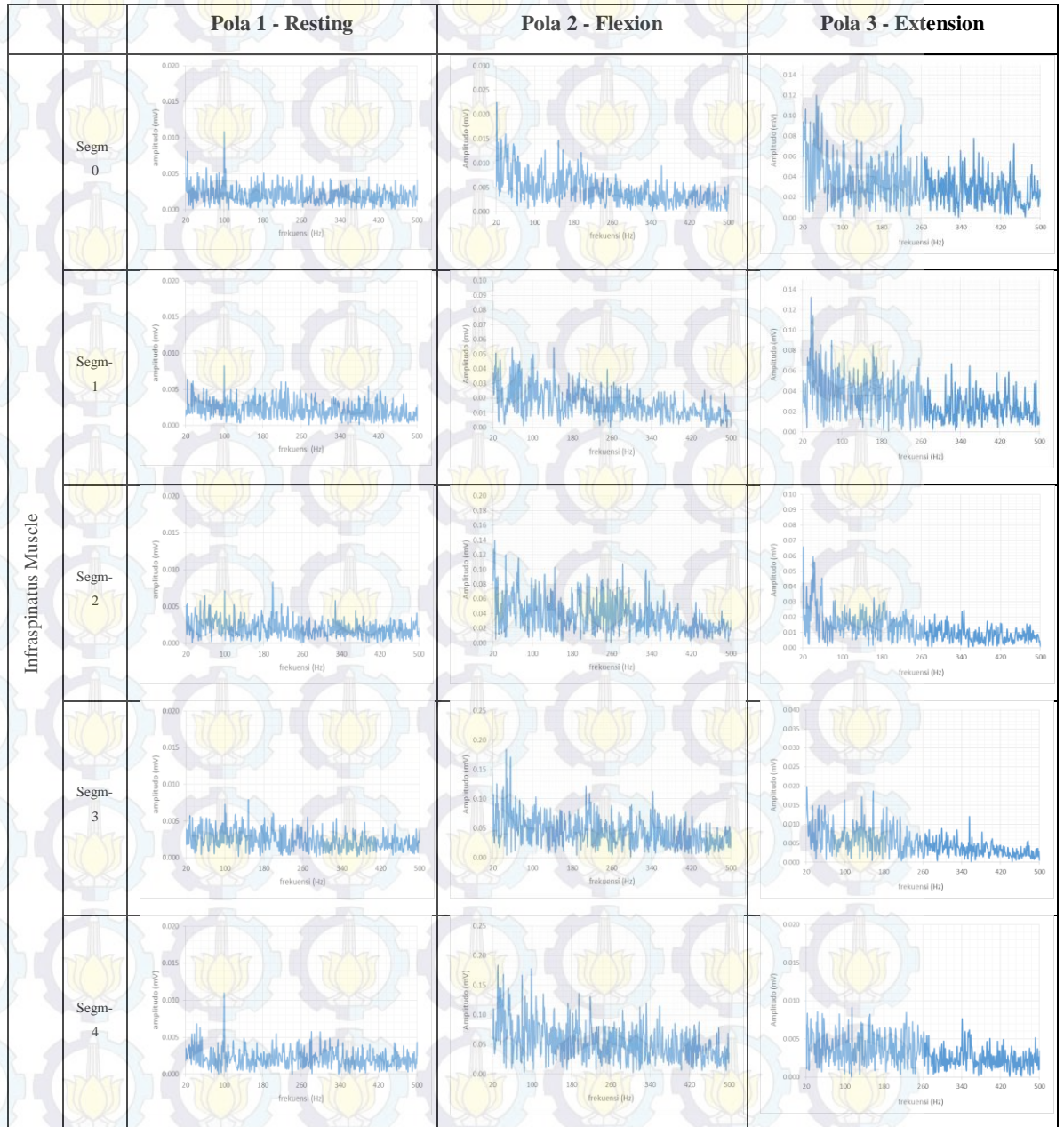
- Energi tertinggi pada otot teres major (mencapai 1,151 mV) pada detik 0 dan selanjutnya mengalami penurunan level energy pada detik ke 2, selanjutnya mengalami peningkatan level energy hingga detik ke 4.
- Pada otot pectoralis2 mengalami peningkatan energy sampai detik ke 3 (mencapai 0,992 mV) dan selanjutnya mengalami penurunan sampai detik ke 4.

4.8. Hasil Proses Ekstraksi Ciri Discrete Fourier Transform (DFT) sinyal EMG

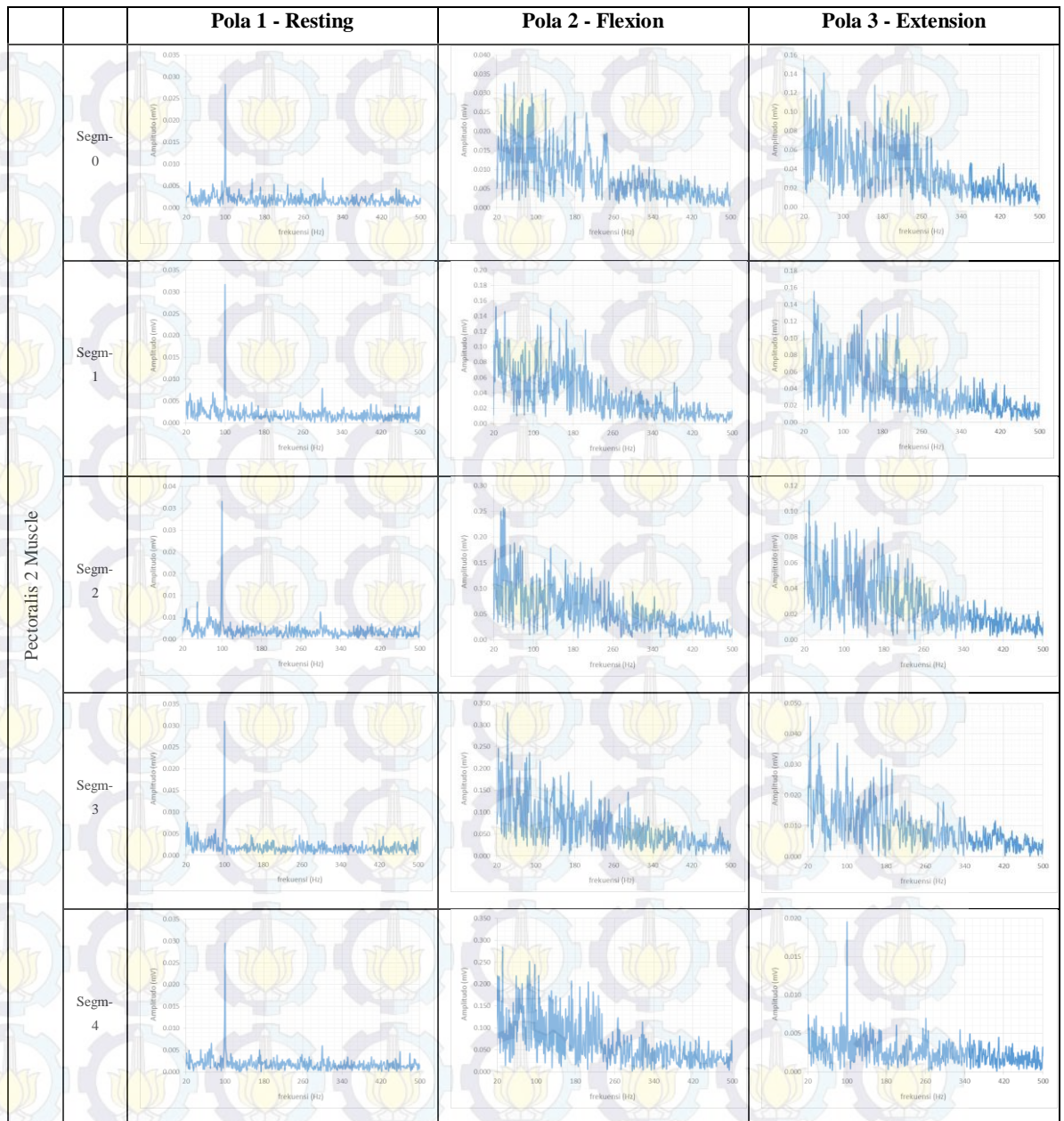
Sinyal EMG yang telah disearahkan, selanjutnya dibagi menjadi 5 segment untuk setiap pola gerakan. Adapun rumusan DFT yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \{ \cos(2\pi kn/N) - j \sin(2\pi kn/N) \}$$

Beberapa hasil Proses Ekstraksi ciri DFT sinyal EMG untuk 3 pola gerakan seperti ditunjukkan pada gambar berikut :

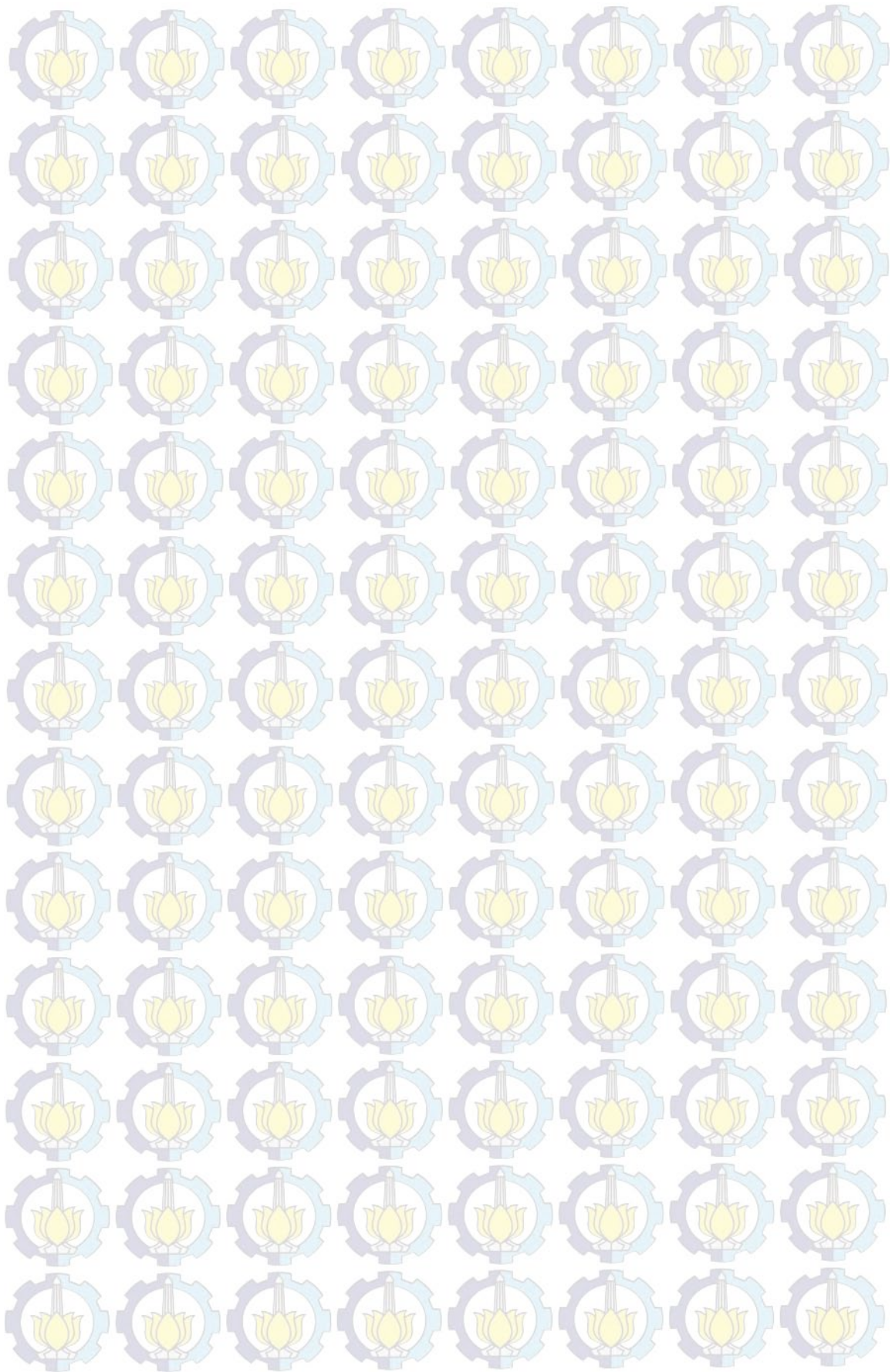


Gambar 4.20. Hasil DFT Sinyal EMG 3 pola gerak subyek A pada otot Infraspinatus



Gambar 4.21. Hasil DFT Sinyal EMG 3 pola gerak subyek A pada otot Pectoralis 2

Pada plot sinyal diatas nampak bahwa level energy sinyal EMG pola resting sangat rendah, tidak lebih dari 10 uV, kecuali pada otot Pectoralis 2 terdapat sinyal 100Hz dengan amplitude sebesar 30 uV. Pada pola gerak Flexion nampak peningkatan level energy sinyal EMG untuk setiap kenaikan segmen sedangkan pada pola gerak Extension Nampak penurunan level energy sinyal EMG untuk setiap kenaikan segmen. Secara keseluruhan sinyal EMG hasil percobaan diproses menggunakan DFT untuk mendapatkan sinyal EMG pada kawasan frekuensi.



4.9. Hasil Proses Modified Mean Frequency (MMNF) sinyal EMG

Rumusan yang digunakan pada proses MMNF adalah sebagai berikut:

$$MMNF = \frac{\sum_{i=1}^M f_i A_i}{\sum_{j=1}^M A_i}$$

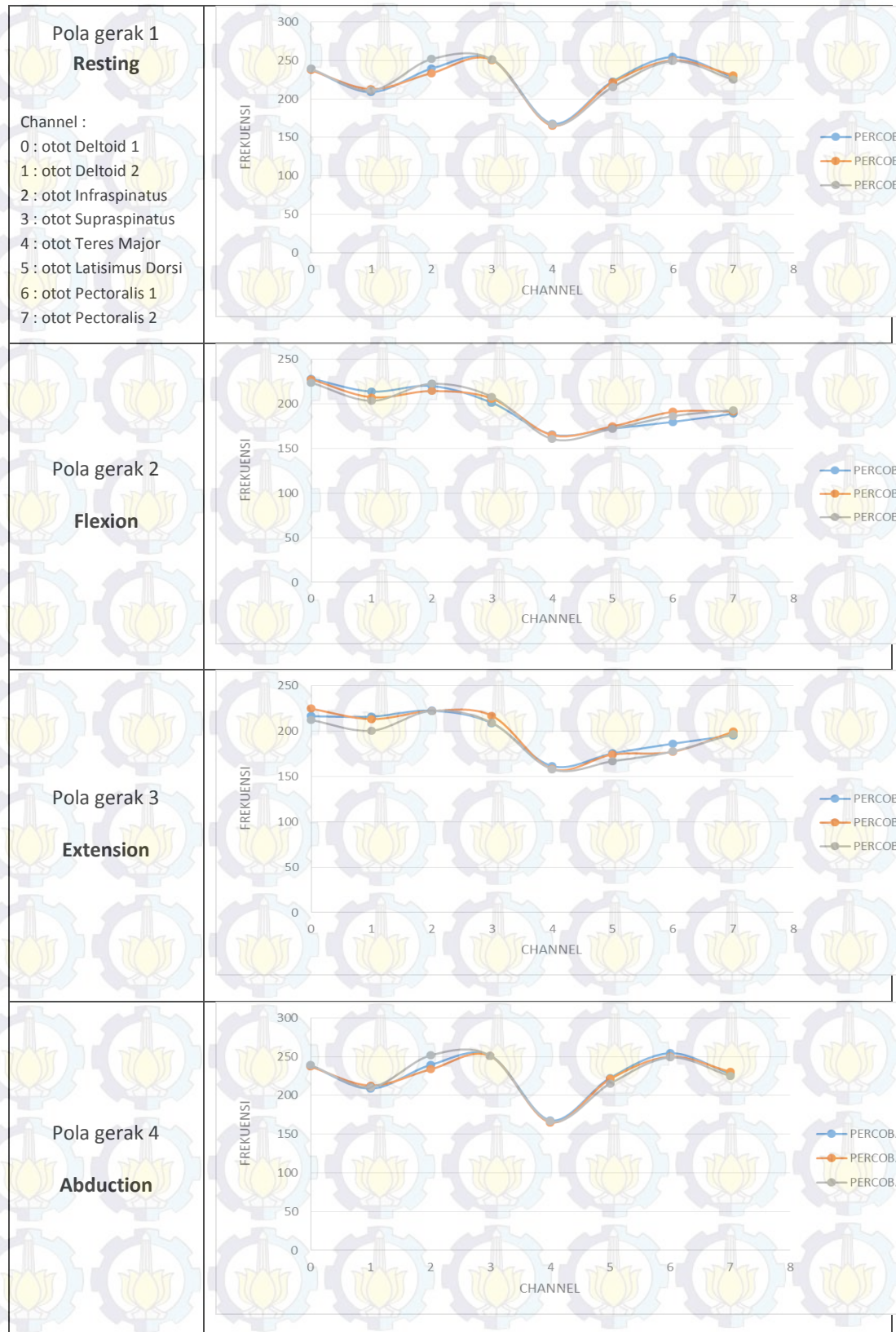
Frekuensi indeks yang digunakan adalah 20 sampai dengan 500 Hz. Hasil perhitungan MMNF sinyal EMG otot Deltoid 1 dan otot Deltoid 2 pada subyek A untuk 3 kali percobaan ditunjukkan pada table berikut:

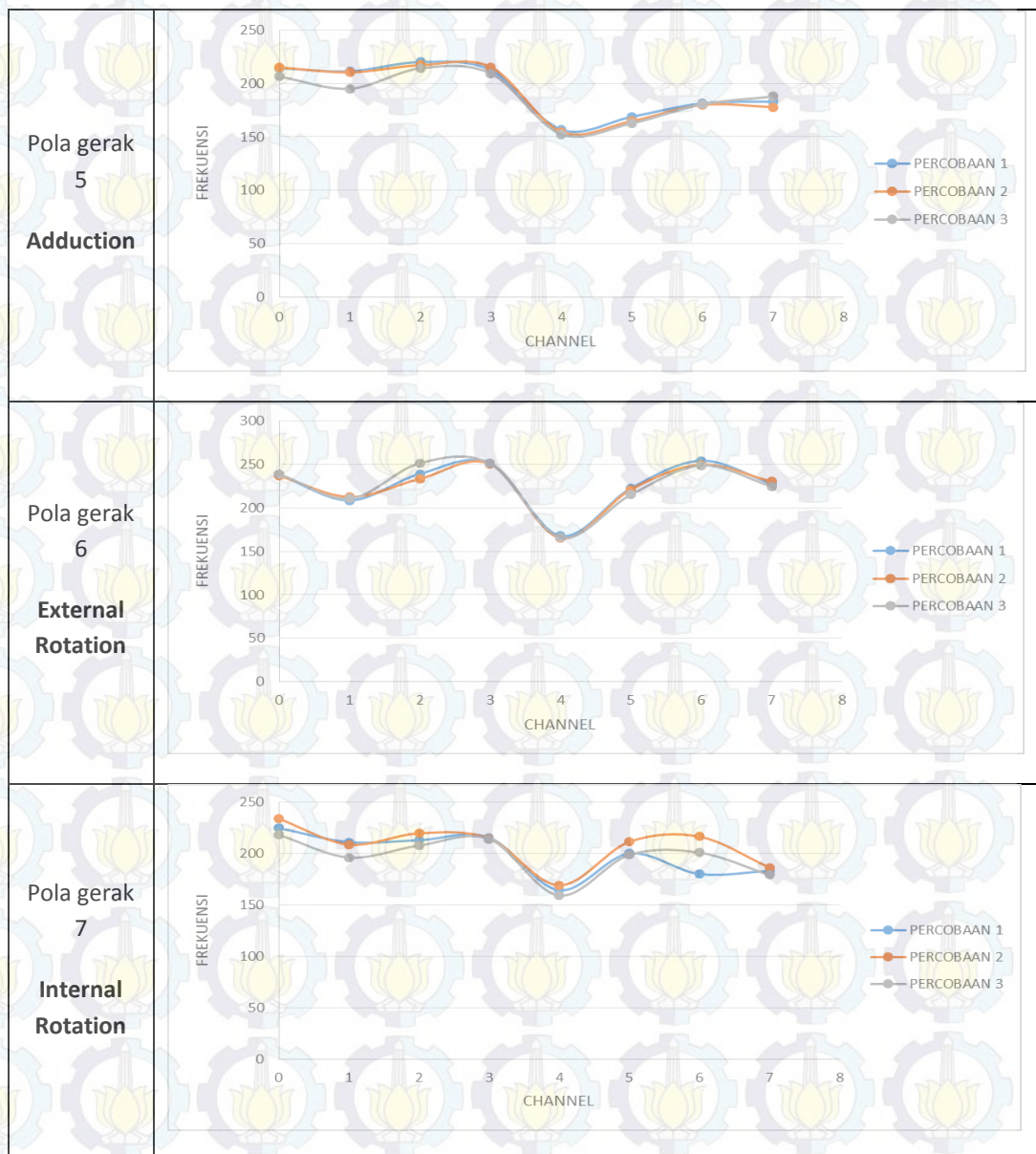
Tabel 4.9. Hasil MMNF Sinyal EMG Subyek A pada otot deltoid 1 dan deltoid 2.

				Resting	Flexion	Extension	Abduction	Adduction	External R.	Internal R.
Deltoid 1 Muscle	PERCOBAAN 1	segment	0	238.4905	275.9133	274.2669	271.1906	268.5244	278.8056	280.7275
			1	240.8	228.6487	228.1943	212.2934	208.8285	207.9459	225.6402
			2	242.4385	218.6023	223.4927	220.8828	214.1892	219.7978	221.2983
			3	226.6003	238.9258	225.5754	212.8266	211.7303	227.4896	230.0196
			4	242.7688	235.806	221.1619	219.2466	233.7488	241.9792	227.1202
		mean		238.2196	239.5792	234.5382	227.288	227.4043	235.2036	236.9612
		stdev		6.712583	21.762	22.35999	24.83496	24.98244	27.32615	24.66786
	PERCOBAAN 2	segment	0	238.6512	238.4492	224.9954	235.3898	212.809	226.4454	227.9326
			1	235.4048	220.0922	225.8716	225.2837	216.3154	218.0593	232.147
			2	237.9271	225.5513	223.5176	227.1463	208.0974	223.1982	237.7776
			3	236.0904	225.8652	221.398	217.482	196.5574	229.2269	238.2655
			4	238.2212	227.2112	221.1159	217.7855	241.1544	238.3983	233.8858
		mean		237.259	227.4338	223.3797	224.6175	214.9867	227.0656	234.0017
		stdev		1.424264	6.732246	2.114871	7.424166	16.41918	7.575561	4.263964
	PERCOBAAN 3	segment	0	237.464	231.8044	203.0698	219.2493	208.4268	206.9631	216.2104
			1	240.5048	216.4534	211.3861	215.5032	205.0674	212.9978	220.4841
			2	244.6823	217.4268	206.4424	203.7358	205.8609	215.597	220.7571
			3	233.3079	225.0599	206.5254	202.1308	193.3778	220.8853	223.4335
			4	239.5465	227.8715	198.0136	220.0526	219.3985	229.9459	210.8515
		mean		239.1011	223.7232	205.0875	212.1343	206.4263	217.2778	218.3473
		stdev		4.170142	6.648222	4.941839	8.591823	9.283167	8.675134	4.924312
Deltoid 2 Muscle	PERCOBAAN 1	segment	0	210.4081	203.9694	218.825	213.4178	214.2898	210.344	207.6298
			1	214.7003	218.248	209.3661	214.9072	227.9313	221.1929	204.98
			2	193.1724	197.3248	207.0891	224.8277	200.5633	213.9003	215.7186
			3	212.6118	217.3594	215.5467	208.8335	206.7324	204.9392	219.2926
			4	213.4259	231.6568	216.858	217.1186	207.4715	214.4573	208.6944
		mean		208.8637	213.7117	213.5369	215.821	211.3976	212.9667	211.2631
		stdev		8.909713	13.41037	5.049819	5.878768	10.44377	5.959947	5.991678
	PERCOBAAN 2	segment	0	217.9089	210.6834	215.4494	214.0127	213.0202	205.993	198.2874
			1	219.0525	210.8284	205.8643	208.7181	217.3225	215.0024	214.0492
			2	201.7891	206.8873	200.485	213.2	210.5766	214.7483	209.9163
			3	211.7994	199.1282	203.9287	208.3903	203.2734	210.93	210.5749
			4	213.3495	209.0151	211.1372	221.3093	207.7961	213.1641	211.3836
		Mean		212.7799	207.3085	207.3729	213.1261	210.3977	211.9675	208.8423
		stdev		6.850839	4.842165	5.936784	5.234871	5.300635	3.713018	6.105968
	PERCOBAAN 3	segment	0	215.1458	200.5628	193.8998	202.453	190.1471	185.0358	195.4579
			1	206.2588	204.3032	203.998	195.651	193.0063	194.0128	194.9158
			2	209.3471	209.9696	200.2801	196.7636	199.6459	195.2139	203.2359
			3	211.633	195.492	194.1922	204.9121	193.9563	194.4136	202.2319
			4	211.9715	206.3258	198.4135	201.8838	198.5593	191.94	185.6786
		Mean		210.8712	203.3307	198.1567	200.3327	195.063	192.1232	196.304

		stdev	3.303785	5.547484	4.25835	3.953772	3.963838	4.142268	7.048634
--	--	-------	----------	----------	---------	----------	----------	----------	----------

Nilai rata – rata MMNF subyek A dari tiap otot dan tiap pola gerakan yang telah didapatkan selanjutnya diplot menjadi sebuah grafik untuk mempermudah proses pengamatan, seperti ditunjukkan pada gambar berikut :





Gambar 4.22. Grafik MMNF dari tiap channel untuk 7 pola gerakan lengan pada 3 Percobaan

Dari pot grafik Ekstraksi ciri MMNF di atas dapat diamati bahwa sinyal EMG menunjukkan pola yang sama pada tiap percobaan pada subyek A dan kemiripan pola terjadi pada :

- Pola gerak resting, pola gerak abduction, dan pola gerak External Rotation mempunyai kemiripan.
- Pola gerak Flexion, pola extension dan pola adduction mempunyai kemiripan,

Sedangkan nilai rata – rata dan standar deviasi MMNF untuk tiap channel (otot) dari 3 kali percobaan subyek A seperti ditunjukkan pada table berikut :

Tabel 4.10. Nilai Rata-rata dan standar deviasi proses MMNF

		Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3	Rata - rata	Std. deviasi
Resting Shoulder	Ch 0 : Deltoid 1	238.490467	237.259	239.1011	238.2835	0.93835
	Ch 1 : Deltoid 2	208.863708	212.7799	210.8712	210.8383	1.958287
	Ch 2 : Infraspinatus	239.306549	233.5971	251.7075	241.5371	9.258907
	Ch 3 : Supraspinatus	251.391716	250.6931	251.1554	251.0801	0.355334
	Ch 4 : Teres Major	167.825168	165.3109	166.4129	166.5163	1.260325
	Ch 5 : Latisimus Dorsi	222.660011	221.2657	215.3335	219.7531	3.890407
	Ch 6 : Pectoralis 1	254.498012	250.0221	249.075	251.1984	2.896564
Flexion Shoulder	Ch 7 : Pectoralis 2	228.090953	230.6333	224.9734	227.8992	2.834828
	Ch 0 : Deltoid 1	228.215225	227.4338	223.7232	226.4574	2.399928
	Ch 1 : Deltoid 2	213.711679	207.3085	203.3307	208.117	5.237501
	Ch 2 : Infraspinatus	219.916612	214.2136	222.3492	218.8265	4.175911
	Ch 3 : Supraspinatus	201.150978	205.8151	207.8832	204.9498	3.448547
	Ch 4 : Teres Major	165.609685	164.9157	160.5734	163.6996	2.7295
	Ch 5 : Latisimus Dorsi	172.24171	174.7123	172.0938	173.0159	1.470988
Extension Shoulder	Ch 6 : Pectoralis 1	179.68785	190.922	186.1445	185.5848	5.637929
	Ch 7 : Pectoralis 2	188.874655	191.2841	192.8683	191.009	2.011003
	Ch 0 : Deltoid 1	219.084248	223.3797	205.0875	215.8505	9.565281
	Ch 1 : Deltoid 2	213.53695	207.3729	198.1567	206.3555	7.740416
	Ch 2 : Infraspinatus	218.622394	218.7581	217.896	218.4255	0.463571
	Ch 3 : Supraspinatus	205.209906	202.9607	206.4018	204.8575	1.747374
	Ch 4 : Teres Major	162.149105	162.7035	159.677	161.5099	1.611315
Abduction Shoulder	Ch 5 : Latisimus Dorsi	173.758506	161.5387	166.5541	167.2838	6.142479
	Ch 6 : Pectoralis 1	184.031664	178.3951	172.7969	178.4079	5.617386
	Ch 7 : Pectoralis 2	201.44709	185.6758	186.3377	191.1535	8.920649
	Ch 0 : Deltoid 1	216.337213	224.6175	212.1343	217.6963	6.351589
	Ch 1 : Deltoid 2	215.820996	213.1261	200.3327	209.7599	8.274652
	Ch 2 : Infraspinatus	222.432709	222.1025	222.2634	222.2662	0.16513
	Ch 3 : Supraspinatus	208.692103	216.7776	209.085	211.5182	4.55899
Adduction Shoulder	Ch 4 : Teres Major	161.371654	158.1431	157.81	159.1082	1.967235
	Ch 5 : Latisimus Dorsi	175.349095	174.0485	166.6918	172.0298	4.668338
	Ch 6 : Pectoralis 1	186.004556	177.1251	177.4638	180.1978	5.031614
	Ch 7 : Pectoralis 2	195.295317	199.1708	196.8064	197.0908	1.953332
	Ch 0 : Deltoid 1	214.286329	214.9867	206.4263	211.8998	4.753112
	Ch 1 : Deltoid 2	211.397645	210.3977	195.063	205.6195	9.155826
	Ch 2 : Infraspinatus	219.950009	217.0397	214.1589	217.0495	2.895577
External Rotation Shoulder	Ch 3 : Supraspinatus	212.33994	215.2077	209.2934	212.2804	2.957596
	Ch 4 : Teres Major	156.679052	154.7746	152.5749	154.6762	2.053833
	Ch 5 : Latisimus Dorsi	168.862582	164.8139	162.7901	165.4889	3.091993
	Ch 6 : Pectoralis 1	181.43764	179.9831	180.4725	180.6311	0.740135
	Ch 7 : Pectoralis 2	183.097396	177.8857	187.7442	182.9091	4.931934
	Ch 0 : Deltoid 1	225.10073	227.0656	217.2778	223.1481	5.17783
	Ch 1 : Deltoid 2	212.96673	211.9675	192.1232	205.6858	11.75619
Internal Rotation Shoulder	Ch 2 : Infraspinatus	216.670705	215.5554	211.3737	214.5332	2.79253
	Ch 3 : Supraspinatus	203.330965	205.54	196.9594	201.9434	4.455405
	Ch 4 : Teres Major	165.906362	166.5983	156.4577	162.9875	5.665491
	Ch 5 : Latisimus Dorsi	198.372846	204.2701	184.0821	195.575	10.38075
	Ch 6 : Pectoralis 1	199.813037	211.121	201.9206	204.2849	6.013336
	Ch 7 : Pectoralis 2	198.274948	194.9496	184.0162	192.4136	7.46
	Ch 0 : Deltoid 1	224.966371	234.0017	218.3473	225.7718	7.858203
Internal Rotation Shoulder	Ch 1 : Deltoid 2	211.263085	208.8423	196.304	205.4698	8.029557
	Ch 2 : Infraspinatus	213.06452	219.7866	207.8792	213.5768	5.970234
	Ch 3 : Supraspinatus	215.637358	214.7275	214.1993	214.8547	0.727417
	Ch 4 : Teres Major	164.416017	169.2237	159.28	164.3066	4.972754
	Ch 5 : Latisimus Dorsi	200.0926	211.4833	198.7669	203.4476	6.99061
	Ch 6 : Pectoralis 1	180.182725	216.5511	201.0122	199.2487	18.24821
	Ch 7 : Pectoralis 2	183.184398	186.4886	179.215	182.9627	3.641888

Dari tabel 4.10 menjelaskan bahwa kemiripan bentuk pola MMNF (seperti ditunjukkan pada gambar 4.22) mempunyai perbedaan nilai MMNF.

Perbedaan nilai MMNF pada pola yang mirip untuk semua otot / channel pada pola sinyal Flexion, Extension dan Adduction ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 4.11. Perbedaan Nilai MMNF pada pola mirip (Flexion, Extension, Adduction)

	Pola 2 : Flexion	Pola 3 : Extension	Pola 5 : Adduction
Deltoid 1 Muscle	226.5 \pm 2.4	215.9 \pm 9.6	211.9 \pm 4.8
Deltoid 2 Muscle	208.1 \pm 5.2	206.4 \pm 7.7	205.6 \pm 9.2
Infraspinatus Muscle	218.8 \pm 4.2	218.4 \pm 0.4	217.0 \pm 2.9
Supraspinatus Muscle	204.9 \pm 3.4	204.9 \pm 1.7	212.3 \pm 2.9
Teres Major Muscle	163.7 \pm 2.7	161.5 \pm 1.6	154.7 \pm 2.1
Latisimus Dorsi Muscle	173.0 \pm 1.5	167.3 \pm 6.1	165.5 \pm 3.1
Pectoralis 1 Muscle	185.6 \pm 5.6	178.4 \pm 5.6	180.6 \pm 0.7
Pectoralis 2 Muscle	191.0 \pm 2.0	191.2 \pm 8.9	182.9 \pm 4.9

Untuk pola sinyal flexion dan extension terjadi irisan nilai MMNF pada semua otot, sehingga bentuk pola linear Envelope cukup berperan untuk mengklasifikasikan sinyal flexion dan extension. (informasi dari linear envelope sinyal adalah sinyal flexion mempunyai level energy yang semakin tinggi sedangkan sinyal extension mempunyai level energy yang semakin rendah pada proses pergerakannya).

Untuk pola Extension dan adduction yang keduanya mempunyai persamaan level energy yang semakin rendah pada proses Linear Envelope, mempunyai perbedaan nilai MMNF (tidak mengalami irisan data MMNF) pada sinyal otot Supraspinatus dan otot Teres Major.

Tabel 4.12. Perbedaan Nilai MMNF pada pola mirip (Resting, Abduction, External Rotation, dan Internal Rotation)

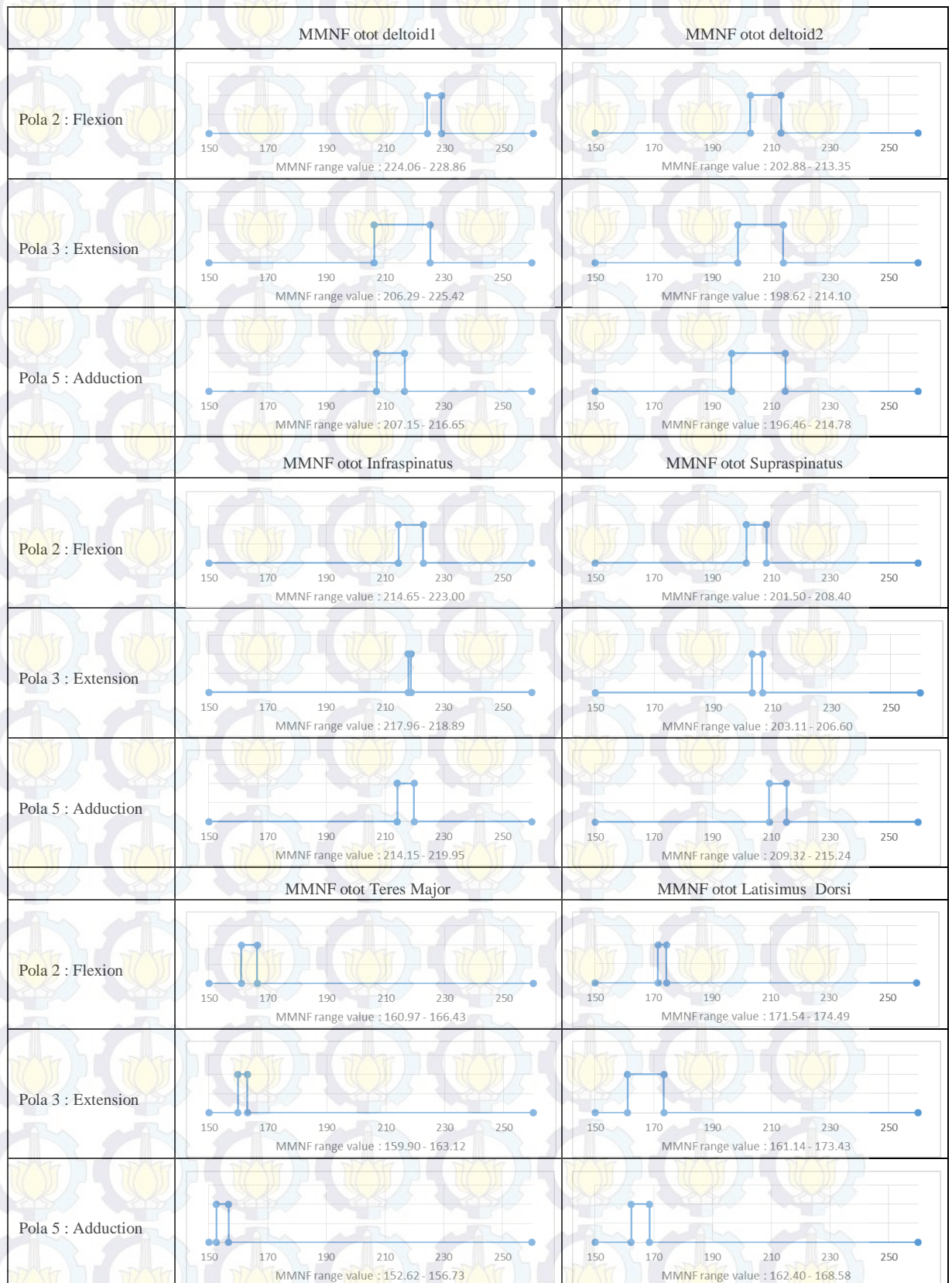
	Pola 1 : Resting	Pola 4 : Abduction	Pola 6 : Ext. Rot.	Pola 7 : Int. Rot.
Deltoid 1 Muscle	238.3 \pm 0.9	217.7 \pm 6.4	223.1 \pm 5.2	225.8 \pm 7.9
Deltoid 2 Muscle	210.8 \pm 2.0	209.8 \pm 8.3	205.7 \pm 11.8	205.5 \pm 8.0
Infraspinatus Muscle	241.5 \pm 9.3	222.3 \pm 0.2	214.5 \pm 2.8	213.6 \pm 6.0
Supraspinatus Muscle	251.1 \pm 0.4	211.5 \pm 4.6	201.9 \pm 4.5	214.9 \pm 0.7
Teres Major Muscle	166.5 \pm 1.3	159.1 \pm 2.0	163.0 \pm 5.7	164.3 \pm 5.0
Latisimus Dorsi Muscle	219.8 \pm 3.9	172.0 \pm 4.7	195.6 \pm 10.4	203.4 \pm 7.0
Pectoralis 1 Muscle	251.2 \pm 2.9	180.2 \pm 5.0	204.3 \pm 6.0	199.2 \pm 18.2
Pectoralis 2 Muscle	227.9 \pm 2.8	197.1 \pm 2.0	192.4 \pm 7.5	183.0 \pm 3.6

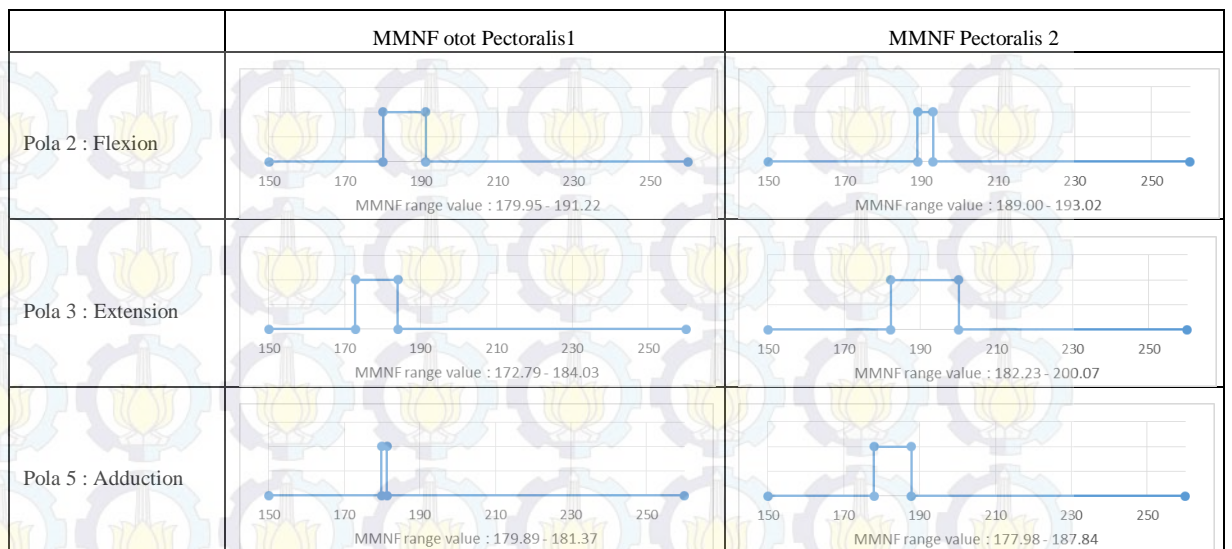
Untuk pola resting nilai MMNF pada umumnya lebih tinggi dibandingkan pola abduction, pola external rotation dan pola internal rotation, dan tidak terjadi irisan data pada otot deltoid1, otot Infraspinatus, otot Supraspinatus, otot Latisimus Dorsi, dan otot Pectoralis 1 terhadap ketiga gerakan yang lain.

Untuk pola abduction dan pola external rotation tidak terjadi irisan data pada otot Latisimus Dorsi dan otot Pectoralis 1.

Untuk pola External rotation dan Internal rotation tidak terjadi irisan pada otot supraspinatus saja.

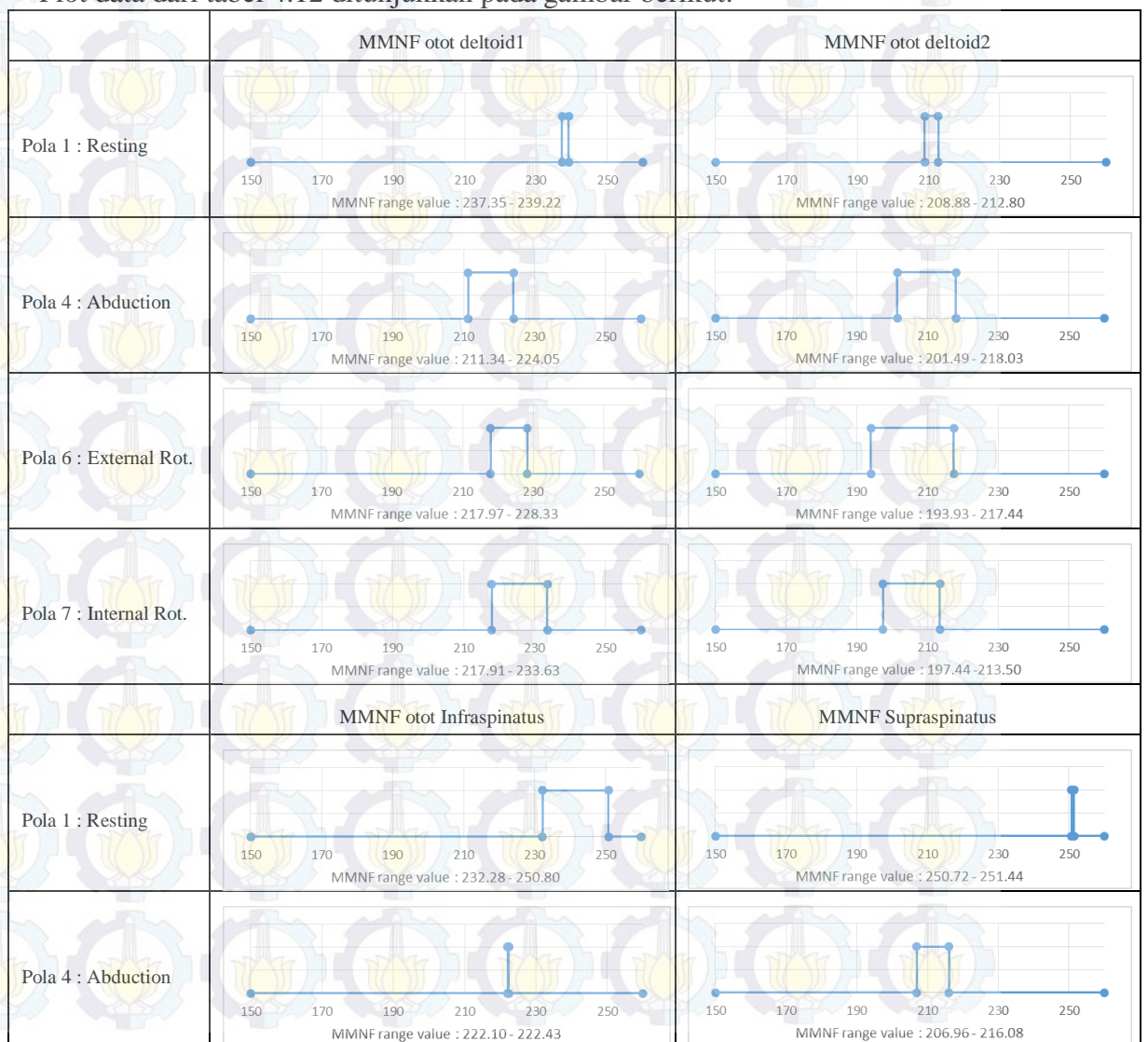
Data pada tabel 4.11 dapat diplot menjadi sebuah tampilan grafis agar lebih mudah melihat irisan data MMNF subyek A, seperti ditunjukkan pada gambar berikut:

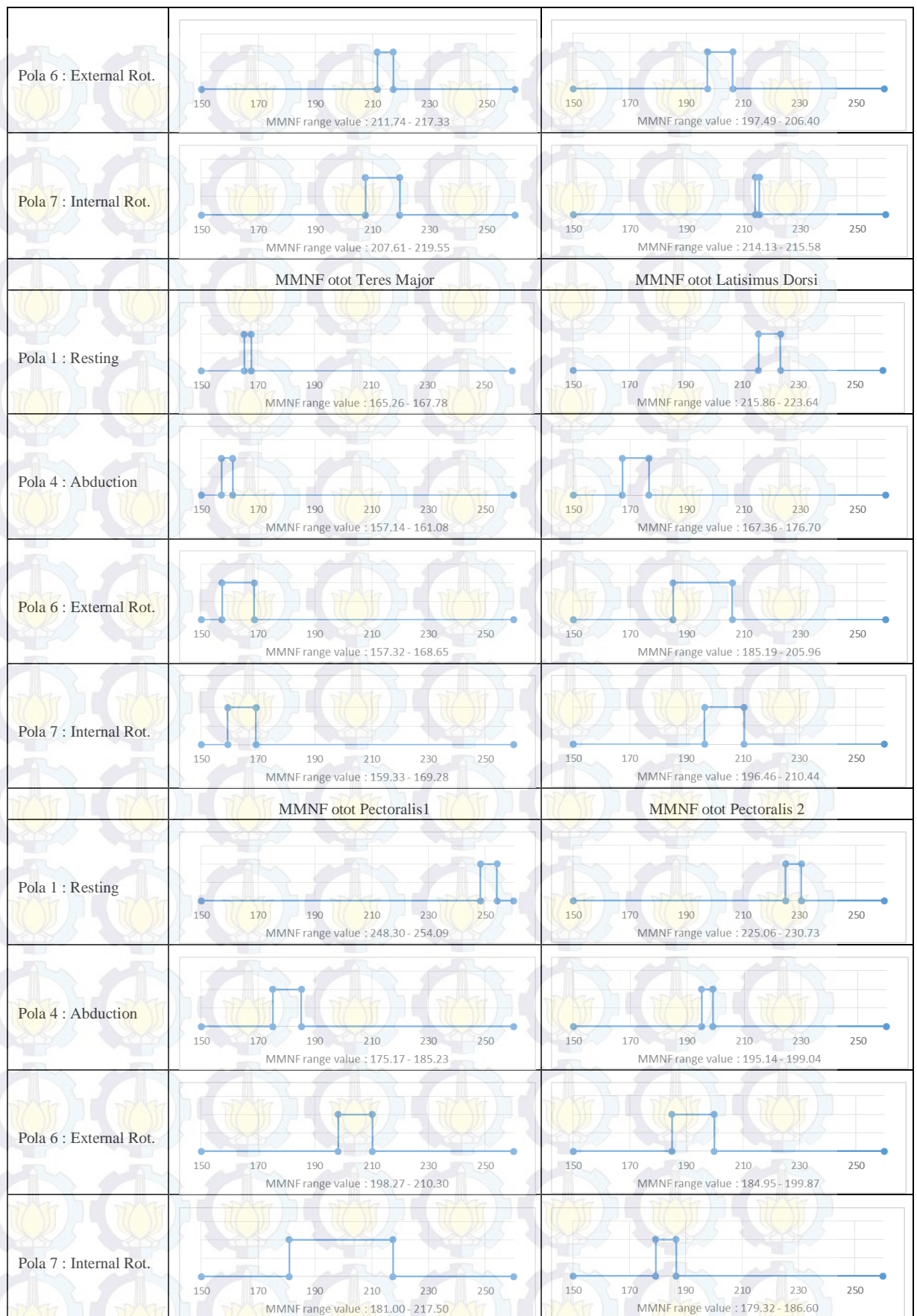




Gambar 4.23. Pola Irisan data MMNF dari tiap otot untuk pola sinyal mirip.(flexion,extension dan adduction)

Plot data dari tabel 4.12 ditunjukkan pada gambar berikut:





Gambar 4.24. Pola Irisan data MMNF dari tiap otot untuk pola sinyal mirip.(resting, abduction, external rotation dan internal rotation)

Dari hasil irisan data MMNF untuk subyek A, dapat ditentukan beberapa ekstraksi ciri sebagai berikut:

- Kombinasi data dari semua channel (semua otot) terbagi menjadi 2 kelompok kombinasi. (pola sinyal yang mirip). Kelompok 1 adalah Flexion, Extension, dan Adduction. Kelompok 2 adalah Resting, Internal Rotation, External Rotation, dan Abduction.
- Dari Kelompok 1, mempunyai ciri ekstraksi MMNF yaitu : gerakan Adduction shoulder dapat dibedakan oleh nilai MMNF yang tidak beririsan pada otot Teres major ($154,7 \pm 2,1$ Hz) dan otot Supraspinatus ($212,3 \pm 2,9$ Hz).
- Dari Kelompok 2, mempunyai ciri ekstraksi MMNF yaitu : gerakan Resting Shoulder mempunyai nilai MMNF yang tidak beririsan pada otot deltoid 1 ($238,3 \pm 0,9$ Hz), otot supraspinatus ($251,1 \pm 0,4$ Hz), otot latisimus Dorsi ($219,8 \pm 3,9$ Hz), otot Pectoralis 1 ($251,2 \pm 2,9$ Hz), dan otot Pectoralis 2 ($227,9 \pm 2,8$ Hz).
- Gerakan Abduction mempunyai ciri Ekstraksi MMNF yang tidak beririsan pada otot Infraspinatus ($222,3 \pm 0,2$ Hz), dan otot Latisimus Dorsi ($172,0 \pm 4,7$ Hz).

4.10. Hasil Proses Modified Median Frequency (MMDF) sinyal EMG

Rumusan yang digunakan pada proses MMDF adalah sebagai berikut:

$$MMDF = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^M A_j$$

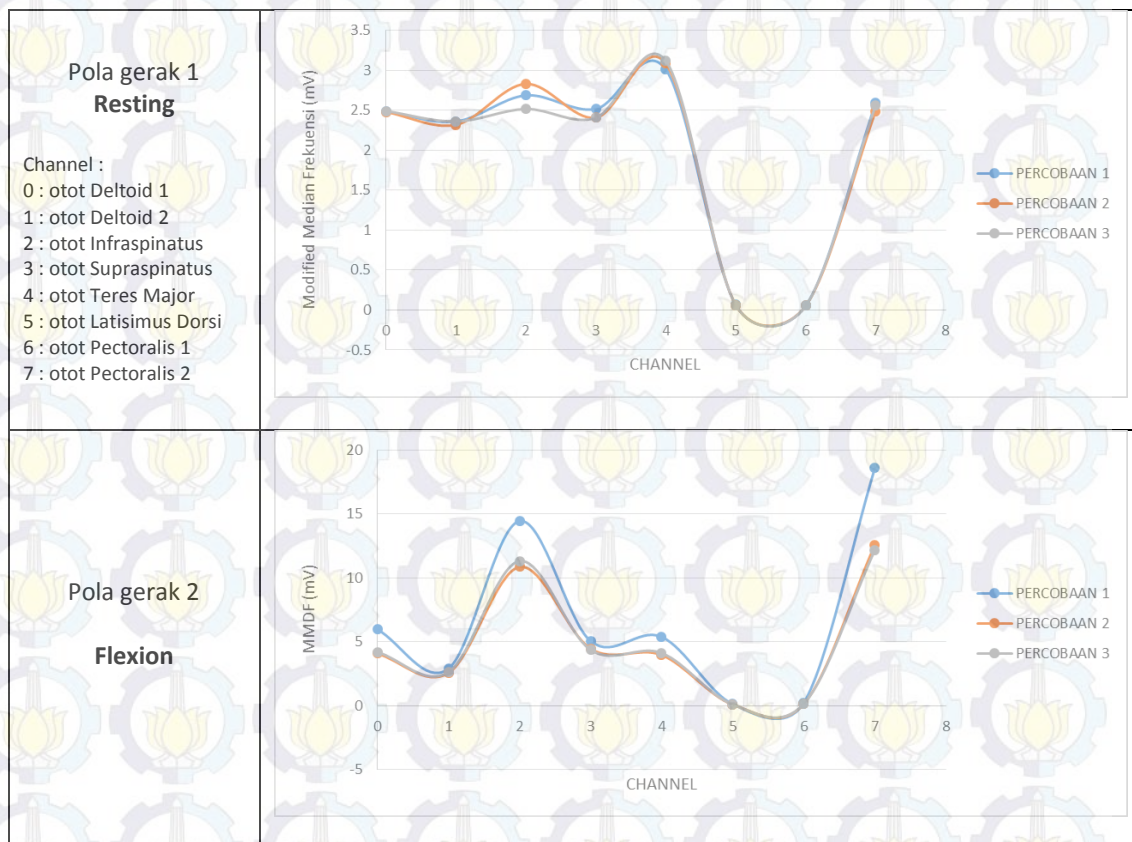
Tiap pola gerakan dibagi menjadi 5 segmen sehingga jumlah data yang digunakan adalah M=3200 data. Hasil perhitungan MMDF sinyal EMG otot Deltoid 1 dan otot Deltoid 2 pada subyek A untuk 3 kali percobaan ditunjukkan pada table berikut:

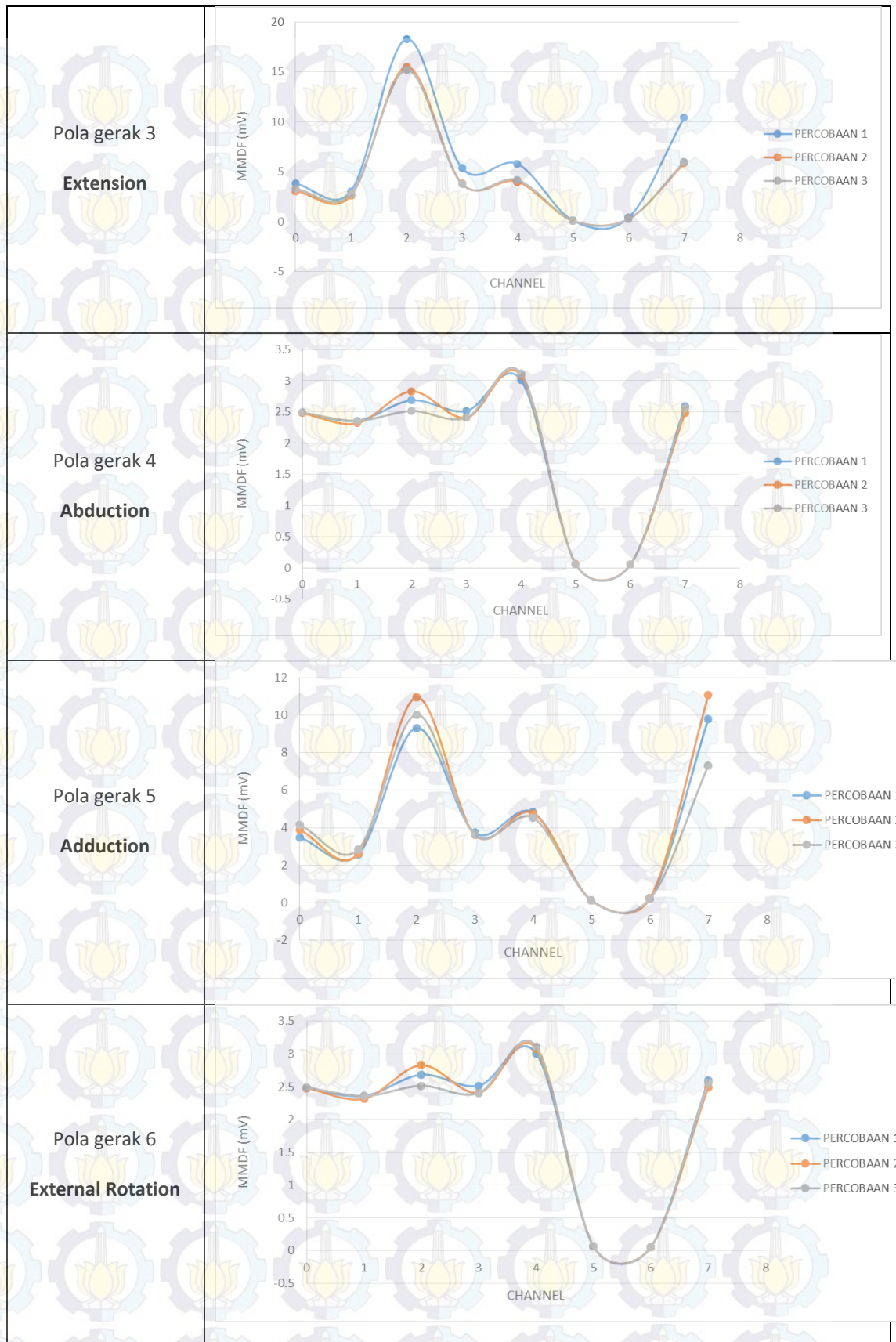
Tabel 4.12. Hasil MMDF Sinyal EMG Subyek A pada otot deltoid 1 dan deltoid 2

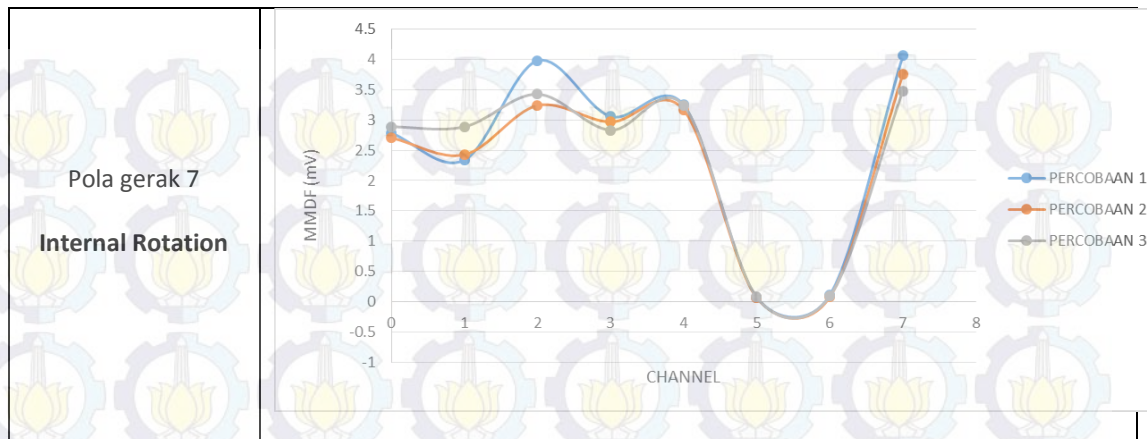
				Resting	Flexion	Extension	Abduction	Adduction	External R.	Internal R.
				0	1	2	3	4	5	6
Deltoid 1 Muscle	PERCOBAAN 1	segment	0	2.407913	2.836676	3.542553	2.745332	3.599367	3.155158	2.966681
			1	2.49545	3.918653	4.155443	3.006874	3.575491	3.033545	2.863279
			2	2.446321	5.686383	3.479391	3.436416	3.831813	3.296368	2.781744
			3	2.499811	8.606439	2.816813	4.143909	3.019312	4.388667	2.665228
			4	2.56741	8.875853	3.905613	5.816622	3.381032	5.092846	2.644867
			mean	2.483381	5.984801	3.579963	3.829831	3.481403	3.793317	2.784386
			stdev	0.060302	2.71569	0.507724	1.23026	0.303792	0.904803	0.135253
	PERCOBAAN 2	segment	0	2.536818	2.577667	3.100613	2.548249	3.593714	2.775435	2.942462
			1	2.530397	3.131652	3.82266	2.705891	3.64631	2.874944	2.682408
			2	2.413478	3.694174	4.430108	2.734237	3.62745	2.947046	2.645457
			3	2.402033	4.804102	3.770791	3.414256	5.866124	3.237094	2.615214
			4	2.515949	6.235714	3.271303	3.993558	2.700777	4.68425	2.659818
			mean	2.479735	4.088662	3.679095	3.079238	3.886875	3.303754	2.709072
			stdev	0.066265	1.455703	0.522966	0.610037	1.176369	0.790641	0.132725
	PERCOBAAN 3	segment	0	2.528794	2.6972	4.160283	2.765781	3.832416	3.044547	2.96171
			1	2.51699	3.273941	4.998063	2.987531	4.112774	3.110884	2.888293
			2	2.468145	3.826494	5.433117	3.31338	3.99431	3.130849	2.799702
			3	2.442489	4.940881	4.740991	3.637475	5.976731	3.254207	2.785756
			4	2.495126	6.320078	4.074226	3.787228	2.878503	4.279619	3.006634
			mean	2.490309	4.211719	4.681336	3.298279	4.158947	3.364021	2.888419
			stdev	0.035335	1.440351	0.572086	0.428507	1.126913	0.517419	0.097155

Deltoid 2 Muscle	PERCOBAAN 1	segment	0	2.300018	2.335024	2.609996	2.411756	2.833963	2.461176	2.360494
			1	2.351257	2.497484	2.525083	2.33304	2.518958	2.473333	2.399655
			2	2.431565	2.964786	2.607577	2.790121	2.581888	2.471855	2.284927
			3	2.352772	3.226324	2.430834	3.39031	2.420962	2.511921	2.387592
			4	2.36264	3.530895	2.324717	4.422842	2.41898	2.502379	2.264955
		mean		2.35965	2.910903	2.499641	3.069614	2.55495	2.484133	2.339524
		stdev		0.047049	0.497327	0.122279	0.86422	0.170521	0.021791	0.061048
	PERCOBAAN 2	segment	0	2.283188	2.333524	2.700255	2.347179	2.876692	2.394591	2.383688
			1	2.332404	2.339251	2.623875	2.413863	2.6474	2.459233	2.419827
			2	2.312305	2.48417	2.607604	2.457602	2.654505	2.324719	2.401485
			3	2.307577	2.760507	2.58368	2.659105	2.418714	2.391197	2.467939
			4	2.355047	2.939277	2.486151	3.281636	2.484447	2.344535	2.469459
		Mean		2.318104	2.571346	2.600313	2.631877	2.616352	2.382855	2.42848
		stdev		0.027078	0.268878	0.077308	0.381406	0.177944	0.052176	0.038879
	PERCOBAAN 3	segment	0	2.35086	2.425129	2.769587	2.598593	2.932573	2.952995	2.894216
			1	2.258538	2.48921	2.765827	2.644612	2.931123	2.757924	2.822523
			2	2.461688	2.584917	2.653588	2.828017	2.827138	2.639704	2.84621
			3	2.31081	2.728948	2.662328	2.780505	2.733567	2.757196	2.892961
			4	2.414304	2.967894	2.751234	2.989036	2.746366	2.788424	2.988659
		Mean		2.35924	2.63922	2.720513	2.768153	2.834153	2.779249	2.888914
		stdev		0.080753	0.216428	0.057597	0.155353	0.096129	0.112568	0.063689

Nilai rata – rata MMDF dari tiap otot dan tiap pola gerakan yang telah didapatkan dari perhitungan akan diplot menjadi tampilan grafik untuk mempermudah proses pengamatan, seperti ditunjukkan pada gambar berikut :







Gambar 4.24. Grafik MMDF dari tiap channel untuk 7 pola gerakan lengan pada 3 Percobaan

Dari plot grafik Ekstraksi ciri MMDF di atas dapat diamati bahwa sinyal EMG menunjukkan pola yang mirip , sehingga dapat dikelompokkan menjadi 2 kelompok yaitu:

- Pola gerak resting, gerak abduction, gerak External Rotation dan gerak Internal Rotation menjadi kelompok 1.
- Pola gerak Flexion, pola extension dan pola adduction menjadi kelompok 2.

Sedangkan nilai rata – rata dan standar deviasi MMDF untuk tiap channel (otot) dari 3 kali percobaan subyek A seperti ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 4.14. Nilai Rata-rata dan standar deviasi proses MMDF

		Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3	Rata - rata	Std. deviasi
Resting Shoulder	Ch 0 : Deltoid 1	2.483381	2.479735	2.490309	2.484475	0.005371
	Ch 1 : Deltoid 2	2.35965	2.318104	2.35924	2.345665	0.023869
	Ch 2 : Infraspinatus	2.685419	2.829504	2.515735	2.676886	0.157059
	Ch 3 : Supraspinatus	2.515073	2.406271	2.406333	2.442559	0.062799
	Ch 4 : Teres Major	3.009592	3.083703	3.117375	3.070223	0.055141
	Ch 5 : Latisimus Dorsi	0.063782	0.063012	0.062419	0.063071	0.000683
	Ch 6 : Pectoralis 1	0.054736	0.053644	0.053783	0.054054	0.000595
	Ch 7 : Pectoralis 2	2.592086	2.489449	2.561391	2.547642	0.052682
Flexion Shoulder	Ch 0 : Deltoid 1	5.984801	4.088662	4.211719	4.761727	1.060998
	Ch 1 : Deltoid 2	2.910903	2.571346	2.63922	2.707156	0.179684
	Ch 2 : Supraspinatus	14.45796	10.8673	11.32952	12.21826	1.953358
	Ch 3 : Supraspinatus	5.068866	4.471257	4.380041	4.640055	0.374152
	Ch 4 : Teres Major	5.396704	3.976093	4.132057	4.501618	0.77908
	Ch 5 : Latisimus Dorsi	0.134629	0.107752	0.113009	0.118463	0.014245
	Ch 6 : Pectoralis 1	0.254069	0.154498	0.162856	0.190474	0.055233
	Ch 7 : Pectoralis 2	18.61715	12.59879	12.20354	14.47316	3.59424
Extension Shoulder	Ch 0 : Deltoid 1	3.579963	3.679095	4.681336	3.980131	0.609281
	Ch 1 : Deltoid 2	2.499641	2.600313	2.720513	2.606822	0.110579
	Ch 2 : Infraspinatus	8.324905	10.47545	11.1086	9.969651	1.459147
	Ch 3 : Supraspinatus	3.578083	3.92483	3.872417	3.791777	0.186911
	Ch 4 : Teres Major	4.134693	4.487135	4.44263	4.354819	0.191929
	Ch 5 : Latisimus Dorsi	0.104787	0.11863	0.114938	0.112785	0.007168
	Ch 6 : Pectoralis 1	0.160707	0.214158	0.206559	0.193808	0.028917
	Ch 7 : Pectoralis 2	9.667947	13.04393	13.03801	11.91663	1.947419
Abduction Shoulder	Ch 0 : Deltoid 1	3.829831	3.079238	3.298279	3.402449	0.385987
	Ch 1 : Deltoid 2	3.069614	2.631877	2.768153	2.823214	0.224003
	Ch 2 : Infraspinatus	18.29798	15.52122	15.22707	16.34876	1.694472
	Ch 3 : Supraspinatus	5.391251	3.820244	3.764818	4.325438	0.923438
	Ch 4 : Teres Major	5.801409	4.018176	4.196091	4.671892	0.982227
	Ch 5 : Latisimus Dorsi	0.129084	0.103268	0.108268	0.11354	0.013691
	Ch 6 : Pectoralis 1	0.42185	0.292653	0.290071	0.334858	0.075348
	Ch 7 : Pectoralis 2	10.44151	5.841035	5.992767	7.425104	2.613385
Adduction Shoulder	Ch 0 : Deltoid 1	3.481403	3.886875	4.158947	3.842408	0.340954
	Ch 1 : Deltoid 2	2.55495	2.616352	2.834153	2.668485	0.146721
	Ch 2 : Infraspinatus	9.311226	10.94309	10.02597	10.09343	0.818021
	Ch 3 : Supraspinatus	3.733245	3.623474	3.622507	3.659742	0.063657
	Ch 4 : Teres Major	4.814489	4.770155	4.526206	4.703617	0.155233
	Ch 5 : Latisimus Dorsi	0.116966	0.118083	0.113836	0.116295	0.002202
	Ch 6 : Pectoralis 1	0.237511	0.241204	0.222319	0.233678	0.010009
	Ch 7 : Pectoralis 2	9.791667	11.05567	7.321395	9.389578	1.899333
External Rotation Shoulder	Ch 0 : Deltoid 1	3.793317	3.303754	3.364021	3.487031	0.266958
	Ch 1 : Deltoid 2	2.484133	2.382855	2.779249	2.548745	0.205944
	Ch 2 : Infraspinatus	4.674131	4.74464	4.343416	4.587396	0.214214
	Ch 3 : Supraspinatus	5.297897	4.442128	4.137799	4.625941	0.601496
	Ch 4 : Teres Major	3.199337	3.167233	3.289722	3.218764	0.063513
	Ch 5 : Latisimus Dorsi	0.073042	0.071228	0.075848	0.073372	0.002328
	Ch 6 : Pectoralis 1	0.0976	0.091398	0.088178	0.092392	0.004789
	Ch 7 : Pectoralis 2	3.720088	3.833778	3.615962	3.723276	0.108943
Internal Rotation Shoulder	Ch 0 : Deltoid 1	2.784386	2.709072	2.888419	2.793959	0.090056
	Ch 1 : Deltoid 2	2.339524	2.42848	2.888914	2.552306	0.294884
	Ch 2 : Infraspinatus	3.980632	3.240388	3.427938	3.549652	0.384839
	Ch 3 : Supraspinatus	3.059102	2.968237	2.832832	2.95339	0.113863
	Ch 4 : Teres Major	3.248566	3.167233	3.239857	3.218552	0.044656
	Ch 5 : Latisimus Dorsi	0.069341	0.067179	0.074243	0.070254	0.00362
	Ch 6 : Pectoralis 1	0.107234	0.076381	0.087779	0.090464	0.015601
	Ch 7 : Pectoralis 2	4.060562	3.752021	3.479371	3.763985	0.29078

Dari table 4.14 menjelaskan bahwa kemiripan bentuk pola MMDF (seperti ditunjukkan pada gambar 4.25) mempunyai perbedaan nilai MMDF.

Perbedaan nilai MMDF pada pola yang mirip untuk semua otot / channel pada pola sinyal Flexion, Extension dan Adduction ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 4.15. Perbedaan Nilai MMDF pada pola mirip (Flexion, Extension, Adduction)

	Pola 2 : Flexion	Pola 3 : Extension	Pola 5 : Adduction
Deltoid 1 Muscle	4.8 ± 1.0	4.0 ± 0.6	3.8 ± 0.3
Deltoid 2 Muscle	2.7 ± 0.2	2.6 ± 0.1	2.7 ± 0.1
Infraspinatus Muscle	12.2 ± 2.0	10.0 ± 1.5	10.1 ± 0.8
Supraspinatus Muscle	4.6 ± 0.4	3.8 ± 0.2	3.7 ± 0.1
Teres Major Muscle	4.5 ± 0.8	4.4 ± 0.2	4.7 ± 0.2
Latisimus Dorsi Muscle	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0
Pectoralis 1 Muscle	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.0	0.2 ± 0.0
Pectoralis 2 Muscle	14.5 ± 3.6	11.9 ± 1.9	9.4 ± 1.9

Untuk pola sinyal Flexion tidak terjadi irisan nilai MMDF terhadap sinyal Extension dan sinyal Adduction pada otot Deltoid 1 dan otot supraspinatus.

Untuk pola Extension dan adduction yang keduanya mempunyai persamaan level energy yang semakin rendah pada proses Linear Envelope, tidak mempunyai perbedaan nilai MMDF (mengalami irisan data MMDF) pada semua sinyal otot.

Tabel 4.16. Perbedaan Nilai MMDF pada pola mirip (Resting, Abduction, External Rotation, dan Internal Rotation)

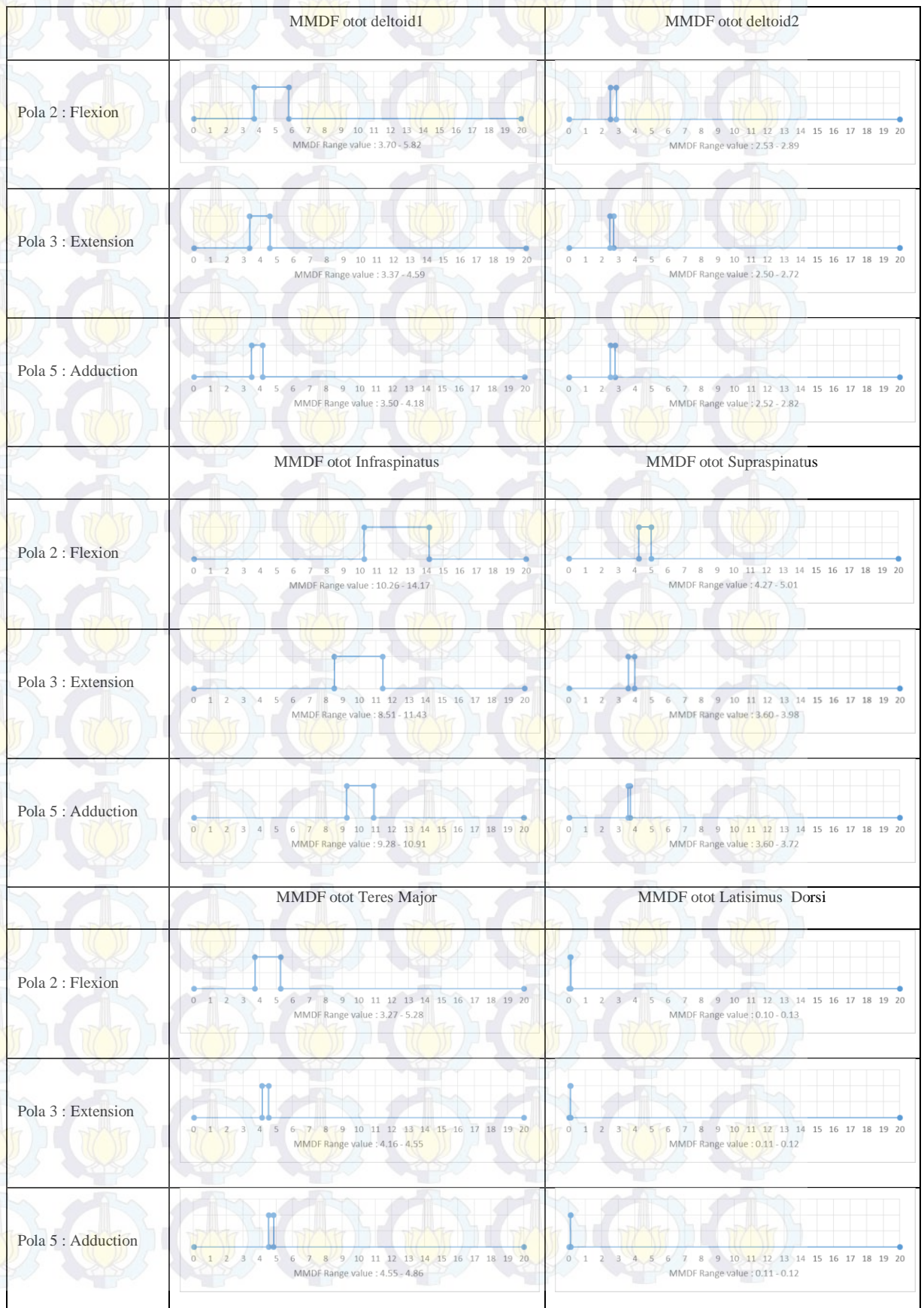
	Pola 1 : Resting	Pola 4 : Abduction	Pola 6 : Ext. Rot.	Pola 7 : Int. Rot.
Deltoid 1 Muscle	2.5 ± 0.0	3.4 ± 0.4	3.5 ± 0.3	2.8 ± 0.1
Deltoid 2 Muscle	2.3 ± 0.0	2.8 ± 0.2	2.5 ± 0.2	2.6 ± 0.3
Infraspinatus Muscle	2.7 ± 0.2	16.3 ± 1.7	4.6 ± 0.2	3.5 ± 0.4
Supraspinatus Muscle	2.4 ± 0.1	4.3 ± 0.9	4.6 ± 0.6	3.0 ± 0.1
Teres Major Muscle	3.1 ± 0.1	4.7 ± 1.0	3.2 ± 0.1	3.2 ± 0.0
Latisimus Dorsi Muscle	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0
Pectoralis 1 Muscle	0.1 ± 0.0	0.3 ± 0.1	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0
Pectoralis 2 Muscle	2.5 ± 0.1	7.4 ± 2.6	3.7 ± 0.1	3.8 ± 0.3

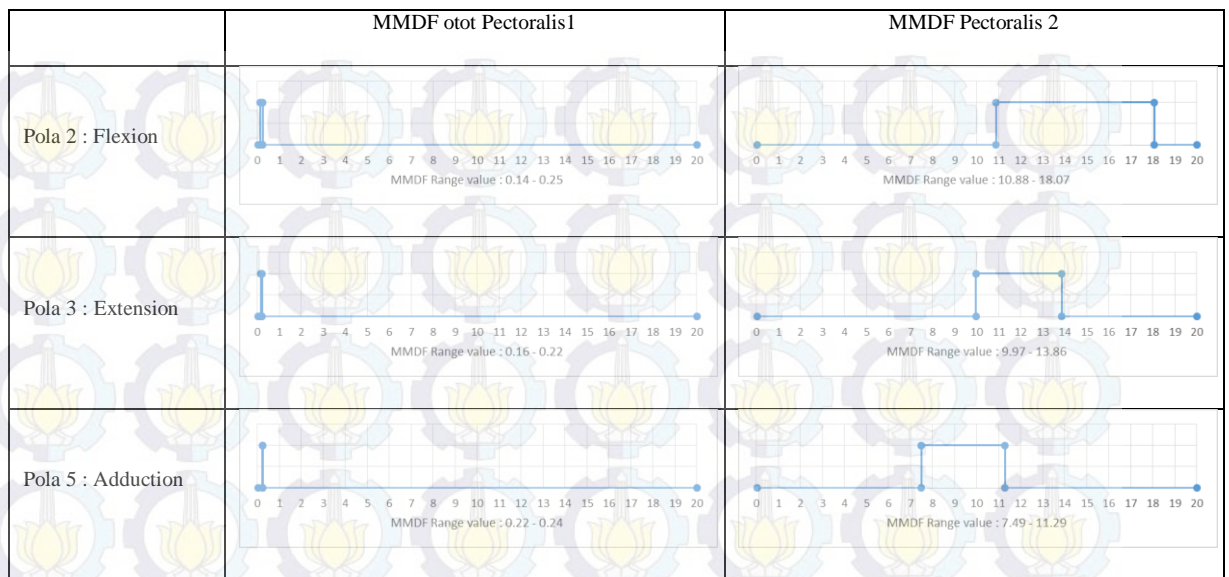
Untuk pola 1 (resting) nilai MMDF pada umumnya lebih rendah dibandingkan pola abduction, pola external rotation, dan pola internal rotation, dan tidak terjadi irisan data pada otot deltoid1, otot Infraspinatus, otot Supraspinatus, dan otot Pectoralis 2 terhadap ketiga gerakan yang lain.

Untuk pola abduction tidak terjadi irisan data terhadap pola gerakan yang lain pada otot Infraspinatus , otot Teres Major dan otot Pectoralis 2.

Untuk pola External rotation dan Internal Rotation tidak terjadi irisan data terhadap pola yang lain pada otot Infraspinatus saja.

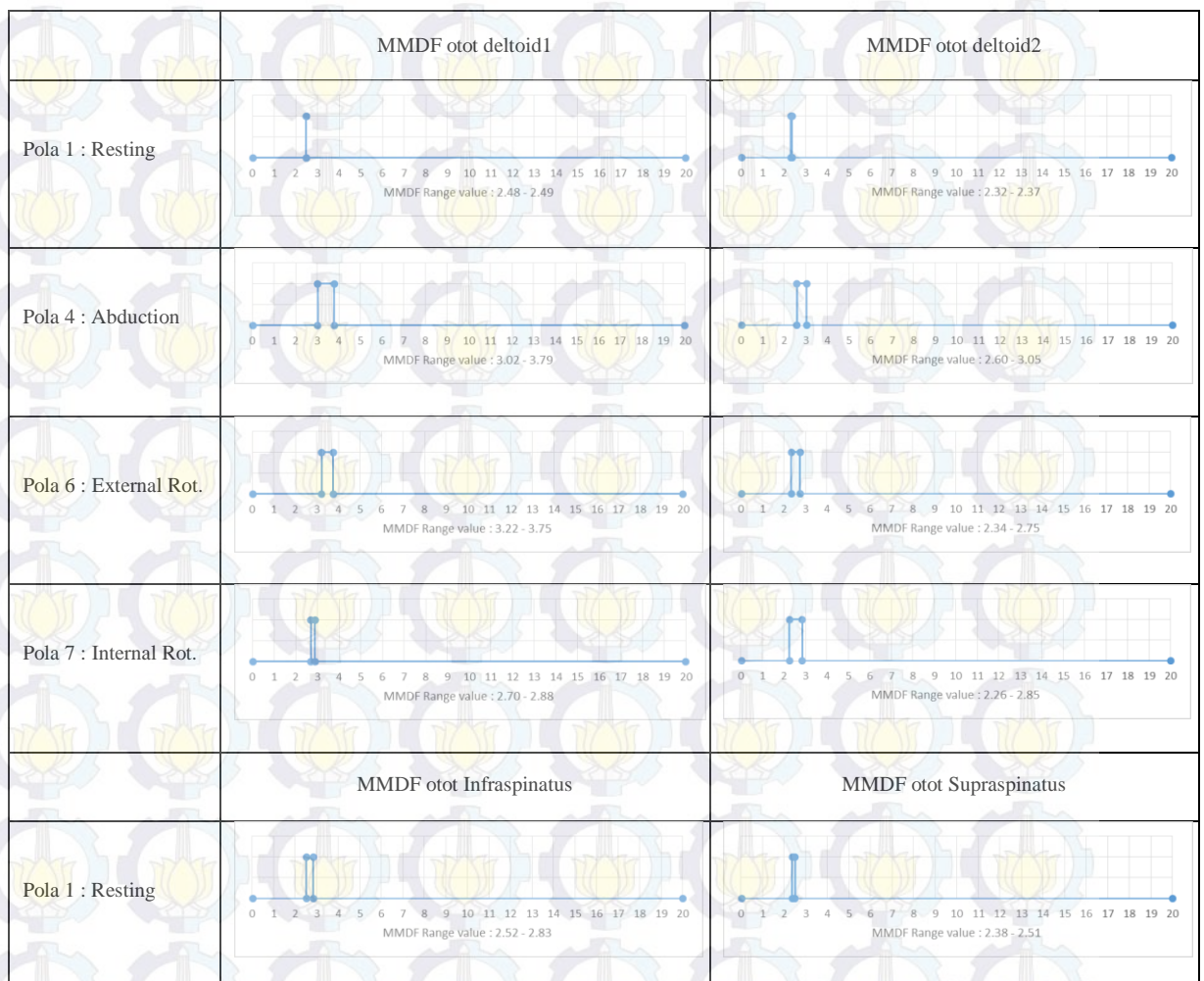
Nilai MMDF pada tabel 4.15 dapat diplot menjadi sebuah tampilan grafis agar lebih mudah melihat irisan data MMDF subyek A, seperti ditunjukkan pada gambar berikut:



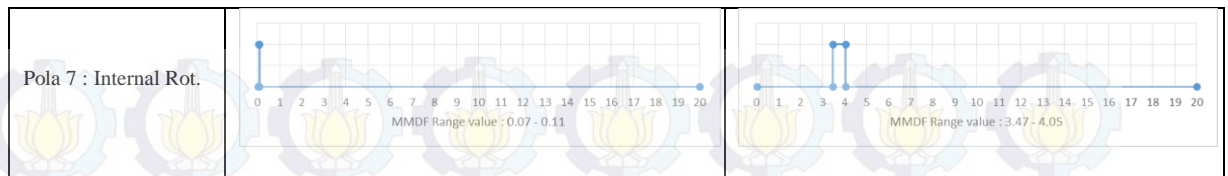


Gambar 4.26. Pola Irisan data MMDF dari tiap otot untuk pola sinyal sama.(flexion,extension dan adduction)

Plot tabel 4.16 seperti ditunjukkan pada gambar berikut:



Pola 4 : Abduction		
Pola 6 : External Rot.		
Pola 7 : Internal Rot.		
MMDF otot Teres Major		MMDF otot Latisimus Dorsi
Pola 1 : Resting		
Pola 4 : Abduction		
Pola 6 : External Rot.		
Pola 7 : Internal Rot.		
MMDF otot Pectoralis1		MMDF Pectoralis 2
Pola 1 : Resting		
Pola 4 : Abduction		
Pola 6 : External Rot.		



Gambar 4.27. Pola Irisan data MMDF dari tiap otot untuk pola sinyal mirip 2. (resting, abduction, external rotation, dan internal rotation)

Dari hasil plot data MMDF diatas dapat ditentukan ekstraksi ciri sebagai berikut:

- Terdapat 2 kelompok pola sinyal yang mirip, yang berarti mempunyai kombinasi data dari tiap otot yang hampir sama, sehingga dapat digunakan untuk proses klasifikasi 2 kelompok. Kelompok 1 adalah pola mirip 1 yaitu : flexion, extension dan adduction. Kelompok 2 adalah : resting, abduction, external rotation, dan internal rotation.
- Dari Kelompok 1, mempunyai ciri ekstraksi MMDF yaitu : gerakan Flexion shoulder dapat dibedakan oleh nilai MMDF yang tidak beririsan pada otot Supraspinatus ($4,6 \pm 0,4$ mV).
- Gerakan adduction dan gerakan extension tidak saling beririsan pada otot Teres Major ($4,4 \pm 0,2$ mV).
- Dari Kelompok 2, mempunyai ciri ekstraksi MMDF yang sangat signifikan yaitu tidak terjadi irisan pada ke empat pola gerakan pada otot infraspinatus.

4.11. Hasil Proses Ekstraksi Ciri pada subyek B dan subyek C

Subyek B adalah Hendra, umur 34 tahun, berat badan 80 kg, dan subyek C adalah Yudha umur 32 tahun, berat badan 78 kg. Prosedur percobaan yang dilakukan sama seperti dengan subyek A. Setelah melalui proses perekaman sinyal EMG untuk tiap subyek sebanyak 3 kali, selanjutnya dilakukan proses ekstraksi ciri dari subyek. Adapun hasil Ekstraksi Ciri Linear Envelope dari subyek B dan C adalah sebagai berikut :

Ekstraksi Ciri Linear Envelope Subyek B sebagai berikut (data ada pada Lampiran 2):

- Ekstraksi ciri gerakan **Resting Shoulder** :
Pada otot teres mayor mempunyai level energy tertinggi pada ketiga percobaan yang dilakukan, sedangkan otot yang lain mempunyai level energy yang lebih rendah. Perubahan level energy (dv/dt) pada subyek B untuk setiap percobaan dicari nilai rata- rata dv/dt dan hasil perhitungannya ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4.17. Nilai Rata – rata dv/dt dan V maks Subyek B

SUBYEK B	dv/dt (mV/s)		V maks (mV)		
	Mean	Mean P1,P2,P3	V maks value	muscle	time
Percobaan1 (P1)	-0.00134	0.0048	0.701	Teres Major	1 - 2
Percobaan2 (P2)	0.00952		0.929	Teres Major	2 - 3
Percobaan3 (P3)	0.00635		0.595	Teres Major	3 - 4

- Ekstraksi ciri gerakan **Flexion Shoulder** :

Otot infraspinatus mempunyai level tertinggi (mencapai 2,73 mV) pada detik kedua. Semua otot mempunyai ciri energy yang semakin bertambah besar untuk setiap perubahan waktu.

- Ekstraksi ciri gerakan **Extension** Shoulder :

Mempunyai energy terbesar pada otot infraspinatus (mencapai 1,804 mV) pada detik kedua.

Pada gerakan Extension beberapa otot mempunyai pola energy menjadi lebih tinggi pada detik ke 2 selanjutnya mulai menurun sampai detik ke 4.

- Ekstraksi ciri gerakan **Abduction** Shoulder :

Energi tertinggi pada otot infraspinatus (mencapai 2,653 mV) pada detik ke 4.

Pola energy beberapa otot mempunyai pola semakin bertambah besar dari detik ke 0 sampai detik ke 4.

- Ekstraksi ciri gerakan **Adduction** Shoulder :

Pola energy otot mempunyai beberapa bentuk pola. Untuk otot infraspinatus, otot pectoralis 1 mempunyai pola yang sama semakin menurun energinya dari detik ke 0 sampai dengan detik ke 4.

Untuk otot yang lain mempunyai pola yang berbeda. (tidak langsung menurun energinya tetapi ada yang naik dulu pada detik ke2 atau detik ke3 selanjutnya energinya mulai menurun.

- Ekstraksi ciri gerakan **External Rotation** Shoulder :

Otot teres mayor mempunyai level energy yang semakin besar dari detik ke 1 sampai detik ke 4. (level energy tertinggi otot teres mayor mencapai 0,961 mV.

- Ekstraksi ciri gerakan **Internal Rotation** Shoulder :

Beberapa otot mempunyai pola energy yang semakin menurun dari detik ke0 sampai detik ke 4. Otot yang mempunyai pola menurun adalah otot Pectoralis 1, otot Pectoralis 2, dan otot Latisimus Dorsi.

Ekstraksi Ciri Linear Envelope Subyek C adalah sebagai berikut (data pada Lampiran 3)

- Ekstraksi ciri gerakan **Resting** Shoulder :

Pada percobaan 1, otot teres mayor mempunyai level energy tertinggi pada 0,957 mV. Pola energy pada posisi Resting shoulder mempunyai nilai yang hampir sama pada tiap perubahan waktu dan nilai dv/dt gerakan resting shoulder mencapai nilai maksimum sebesar 0,284 mV/s terjadi pada detik ke 1 sampai ke 2 di otot teres mayor.

Selanjutnya dihitung nilai rata – rata untuk besarnya perubahan energy untuk masing – masing percobaan, dan hasilnya seperti pada tabel berikut :

Tabel 4.18. Nilai rata – rata dv/dt dan V maks Subyek C

SUBYEK C	dv/dt (mV/s)		V maks (mV)		
	Mean	Mean P1,P2,P3	V maks value	muscle	time
Percobaan1 (P1)	0.0007	0.0058	0.957	Teres Major	3 - 4
Percobaan2 (P2)	0.0081		1.362	Teres Major	2 - 3
Percobaan3 (P3)	0.0087		1.249	Teres Major	3 - 4

- Ekstraksi ciri gerakan **Flexion** Shoulder :

Otot infraspinatus mempunyai level tertinggi (mencapai 2,393 mV) pada detik ketiga. Semua otot mempunyai ciri energy yang semakin bertambah besar untuk setiap perubahan waktu.

- Ekstraksi ciri gerakan **Extension** Shoulder :

Mempunyai energy terbesar pada otot infraspinatus (mencapai 2,315 mV) pada detik kedua.

Pada gerakan Extension beberapa otot mempunyai pola energy menjadi lebih tinggi pada detik ke 2 selanjutnya mulai menurun sampai detik ke 4.

- Ekstraksi ciri gerakan **Abduction** Shoulder :

Energi tertinggi pada otot infraspinatus (mencapai 3,248 mV) pada detik ke 4.

Pola energy beberapa otot mempunyai pola semakin bertambah besar dari detik ke 0 sampai detik ke 4.

- Ekstraksi ciri gerakan **Adduction** Shoulder :

Pola energy otot mempunyai beberapa bentuk pola. Untuk otot infraspinatus mempunyai pola yang sama semakin menurun energinya dari detik ke 0 sampai dengan detik ke 4.

Untuk otot yang lain mempunyai pola yang berbeda. (tidak langsung menurun energinya tetapi ada yang naik dulu pada detik ke2 atau detik ke3 selanjutnya energinya mulai menurun.

- Ekstraksi ciri gerakan **External Rotation** Shoulder :

Otot teres mayor mempunyai level energy yang semakin besar dari detik ke 1 sampai detik ke 4. (level energy tertinggi otot teres mayor mencapai 1,173 mV).

- Ekstraksi ciri gerakan **Internal Rotation** Shoulder :

Beberapa otot mempunyai pola energy yang semakin menurun dari detik ke0 sampai detik ke 4. Otot yang mempunyai pola menurun adalah otot Pectoralis 1, dan otot Pectoralis 2.

Hasil Ekstraksi Ciri MMNF subyek B : (data ada pada Lampiran 5)

- Pada pola MMNF subyek B dapat dikelompokkan menjadi 2 kelompok pola yang mirip. Kelompok 1 adalah gerakan Abduction shoulder, adduction shoulder, dan gerakan extension shoulder, sedangkan Kelompok 2 adalah gerakan Resting shoulder, gerakan Flexion Shoulder, gerakan External Rotation Shoulder, dan gerakan Internal Rotation Shoulder.
- Dari kelompok 1: dapat ditentukan sebuah otot yang mempunyai perbedaan nilai MMNF yang cukup signifikan untuk membedakan ketiga gerakan, yaitu otot Pectoralis2.
- Dari kelompok 2 : dapat ditentukan juga sebuah otot yang mempunyai perbedaan nilai MMNF yaitu otot Latisimus Dorsi.

Hasil Ekstraksi Ciri MMNF subyek C : (data ada pada Lampiran 6)

- Pada pola MMNF subyek C dapat dikelompokkan menjadi 2 kelompok pola yang mirip. Kelompok 1 adalah gerakan Abduction shoulder, adduction shoulder, dan

gerakan extension shoulder, sedangkan Kelompok 2 adalah gerakan Resting shoulder, gerakan Flexion Shoulder, gerakan External Rotation Shoulder, dan gerakan Internal Rotation Shoulder. (sama dengan Kelompok pada subyek B)

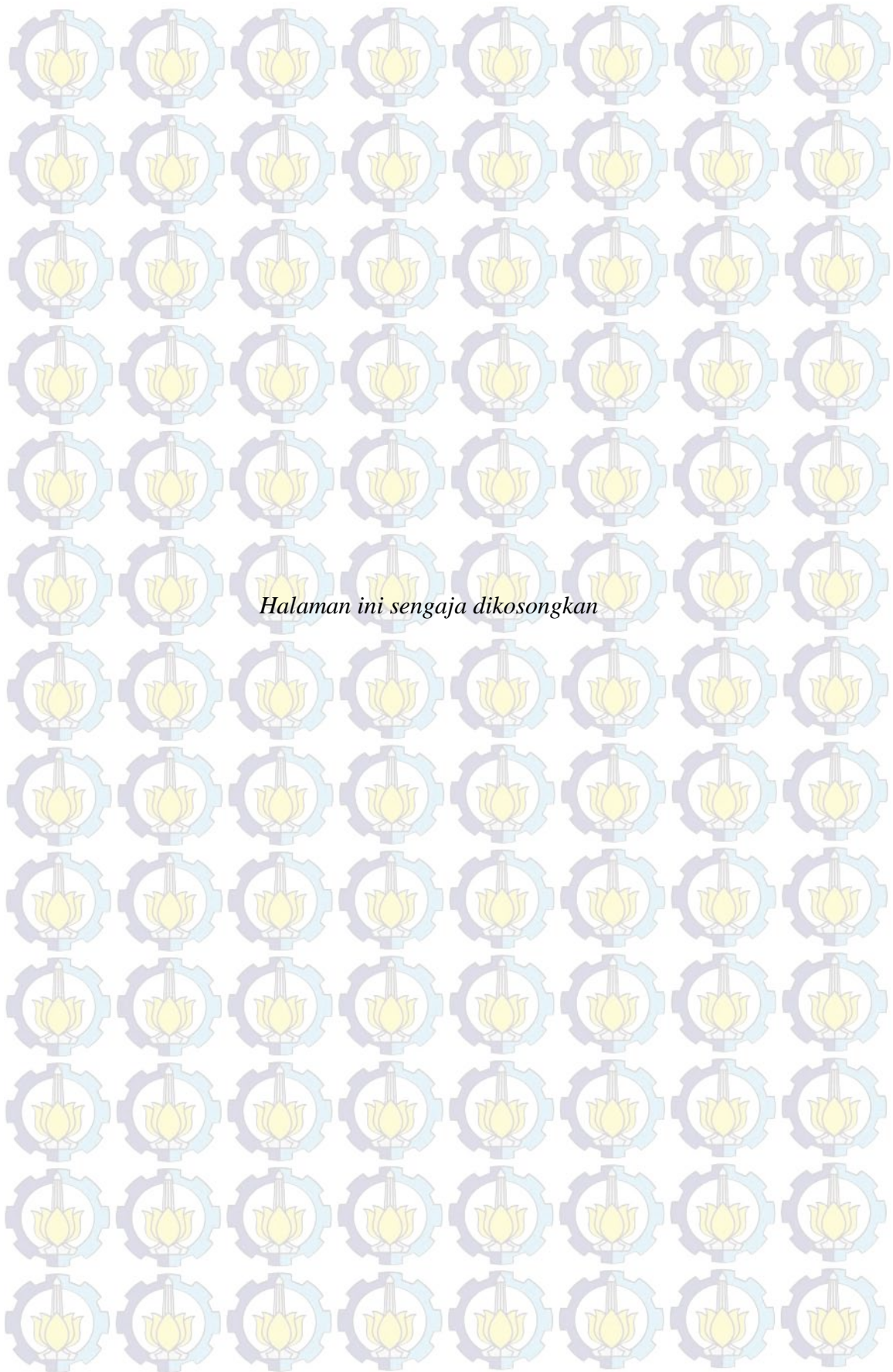
- Dari kelompok 1: tidak dapat ditentukan perbedaan nilai MMNF dikarenakan terjadi irisan data MMNF pada semua otot.
- Dari kelompok 2 : tidak dapat ditentukan perbedaan nilai MMNF dikarenakan terjadi irisan data MMNF pada semua otot.

Hasil Ekstraksi Ciri MMDF subyek B : (data ada pada Lampiran 8)

- Pada pola MMDF subyek B dapat dikelompokkan menjadi 2 kelompok pola yang mirip. Kelompok 1 adalah gerakan Flexion shoulder, adduction shoulder, dan gerakan extension shoulder, sedangkan Kelompok 2 adalah gerakan Resting shoulder, gerakan Abduction Shoulder, gerakan External Rotation Shoulder, dan gerakan Internal Rotation Shoulder.
- Dari kelompok 1: dapat ditentukan sebuah otot yang mempunyai perbedaan nilai MMDF yang cukup signifikan untuk membedakan ketiga gerakan, yaitu otot Supraspinatus.
- Dari kelompok 2 : dapat ditentukan sebuah otot yang mempunyai perbedaan nilai MMDF yang cukup signifikan untuk membedakan keempat gerakan, yaitu otot Infraspinatus.

Hasil Ekstraksi Ciri MMDF subyek C : (data ada pada Lampiran 9)

- Pada pola MMDF subyek C dapat dikelompokkan menjadi 2 kelompok pola yang mirip. Kelompok 1 adalah gerakan Flexion shoulder, adduction shoulder, dan gerakan extension shoulder, sedangkan Kelompok 2 adalah gerakan Resting shoulder, gerakan Abduction Shoulder, gerakan External Rotation Shoulder, dan gerakan Internal Rotation Shoulder.
- Gerakan Flexion bisa dibedakan oleh otot Teres Mayor, dikarenakan tidak beririsan data dengan nilai MMDF otot yang lain.
- Untuk gerakan resting, dan gerakan abduction dapat dibedakan oleh otot infraspinatus.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari percobaan yang telah dilakukan terhadap sinyal EMG yang direkam pada 8 titik otot (otot Deltoid1, otot Deltoid2, otot Infraspinus, otot Supraspinus, otot Teres Major, otot Latisimus Dorsi, otot Pectoralis1, otot Pectoralis2) yang dominan bekerja saat shoulder joint bergerak, mempunyai sinyal artefak jantung pada pengambilan data di otot deltoid 2. Perekaman sinyal EMG dilakukan pada 7 pola gerak shoulder joint.

Pada proses Ekstraksi Ciri menggunakan metode Linear Envelope dapat disimpulkan bahwa pada gerakan resting shoulder (zero position) mempunyai perubahan amplitude per satuan waktu yang sangat kecil. Pada perhitungan nilai rata - rata dv/dt pada subyek A sebesar 0.0067 mV/s, pada subyek B sebesar 0.0048 mV/s, sedangkan pada subyek C nilai rata – rata dv/dt gerakan resting shoulder sebesar 0,0058 mV/s.

Untuk proses ekstraksi ciri gerakan flexion shoulder pada subyek B dan C mempunyai pola energy dari level rendah menjadi semakin tinggi pada semua otot kecuali deltoid2. Sedangkan pada Subyek A mempunyai beberapa otot yang energinya menurun pada detik ke 3. Nilai energy maksimum pada subyek A mencapai 6,669 mV yang terjadi di otot pectoralis2 pada detik ke 2 sampai detik ke 3. Pada subyek B mencapai 2,892 mV yang terjadi pada detik ke 3 sampai detik ke 4 di otot infraspinus. Pada subyek C besarnya energy mencapai 3,47 mV terjadi pada detik ke 3 sampai ke 4 di otot infraspinus.

Dari hasil Ekstraksi ciri Linear Envelope gerakan extension shoulder mempunyai pola energy yang mempunyai beberapa pola sinyal. Pada subyek A terdapat mayoritas pola adalah energy yang semakin tinggi sampai detik ke 2 kemudian mulai menurun, untuk subyek B mempunyai pola energy yang berkurang setelah detik ke 3, sedangkan pada subyek C mempunyai 2 pola energy yang menurun pada detik ke 2, dan mempunyai 3 pola yang energinya menurun pada detik ke 2. Level energy tertinggi pada gerakan extension subyek A yang terjadi pada detik ke 0 sampai ke 1 di otot pectoralis 2, sedangkan subyek B dan C mempunyai energy tertinggi pada otot infraspinus.

Hasil Ekstraksi ciri untuk gerakan Abduction Shoulder pada subyek A, B dan C

mempunyai persamaan bahwa energy EMG mengalami kenaikan dari detik awal sampai akhir gerakan (detik ke 4) kecuali pada otot deltoid 2. Otot yang mempunyai nilai energy tertinggi pada ketiga subyek berbeda posisi, untuk subyek A berada pada otot Pectoralis2, untuk subyek B pada otot supraspinatus, sedangkan subyek C pada otot infraspinatus.

Pola energy pada gerakan adduction mempunyai keberagaman seperti pada gerakan extension shoulder. Sedangkan posisi energy tertinggi pola gerakan adduction berbeda untuk tiap subyek. Subyek A pada otot pectoralis2, subyek B dan C pada otot Infraspinatus.

Pola gerakan external rotation mempunyai pola energy yang cukup beragam tetapi mempunyai pola terbanyak adalah pola energy yang semakin bertambah besar dari awal sampai detik ke 4. Level energy tertinggi pada tiap subyek berbeda. Subyek A pada otot supraspinatus mencapai 1,83 mV, subyek B pada otot Teres Mayor sebesar 0,9 mV, sedangkan subyek C pada otot Teres Mayor sebesar 1,3 mV.

Untuk Pola gerakan internal rotation mempunyai pola energy yang cukup beragam dari tiap otot, sedangkan level energy tertinggi untuk subyek A pada Teres Mayor sebesar 1,15 mV, untuk subyek B pada Teres Mayor sebesar 1,046 mV, dan subyek C pada Teres Mayor sebesar 1,288 mV.

Pada proses Ekstraksi Ciri menggunakan metode Modified Mean Frekuensi (MMNF) dapat disimpulkan bahwa terdapat kelompok kemiripan pola sinyal yang tidak sama pada tiap subyek. Dari hasil ekstraksi ciri pada subyek A menggunakan metode MMNF didapatkan 2 klasifikasi kelompok sinyal yang mirip, dan gerakan adduction dapat dibedakan dengan nilai MMNF otot Teres Mayor dan MMNF otot supraspinatus yang tidak sama dengan gerakan yang lain. Gerakan resting mempunyai nilai MMNF yang spesifik pada otot deltoid1, otot supraspinatus, otot latisimus dorsi, otot Pectoralis1, dan otot Pectoralis2. Gerakan abduction dapat dibedakan karena mempunyai nilai yang spesifik pada otot infraspinatus, dan otot latisimus dorsi. Proses Ekstraksi ciri MMNF untuk subyek B adalah menghasilkan 2 klasifikasi sinyal yang mirip. Tiga gerakan dari kelompok 1 (abduction, adduction, extension) dapat dibedakan oleh otot Pectoralis 2. Sedangkan empat gerakan dari kelompok 2 (Resting, flexion, external rotation, internal rotation) dapat dibedakan oleh otot Latisimus Dorsi. Proses Ekstraksi ciri MMNF untuk subyek C menghasilkan juga 2 klasifikasi sinyal mirip. Tetapi data MMNF yang

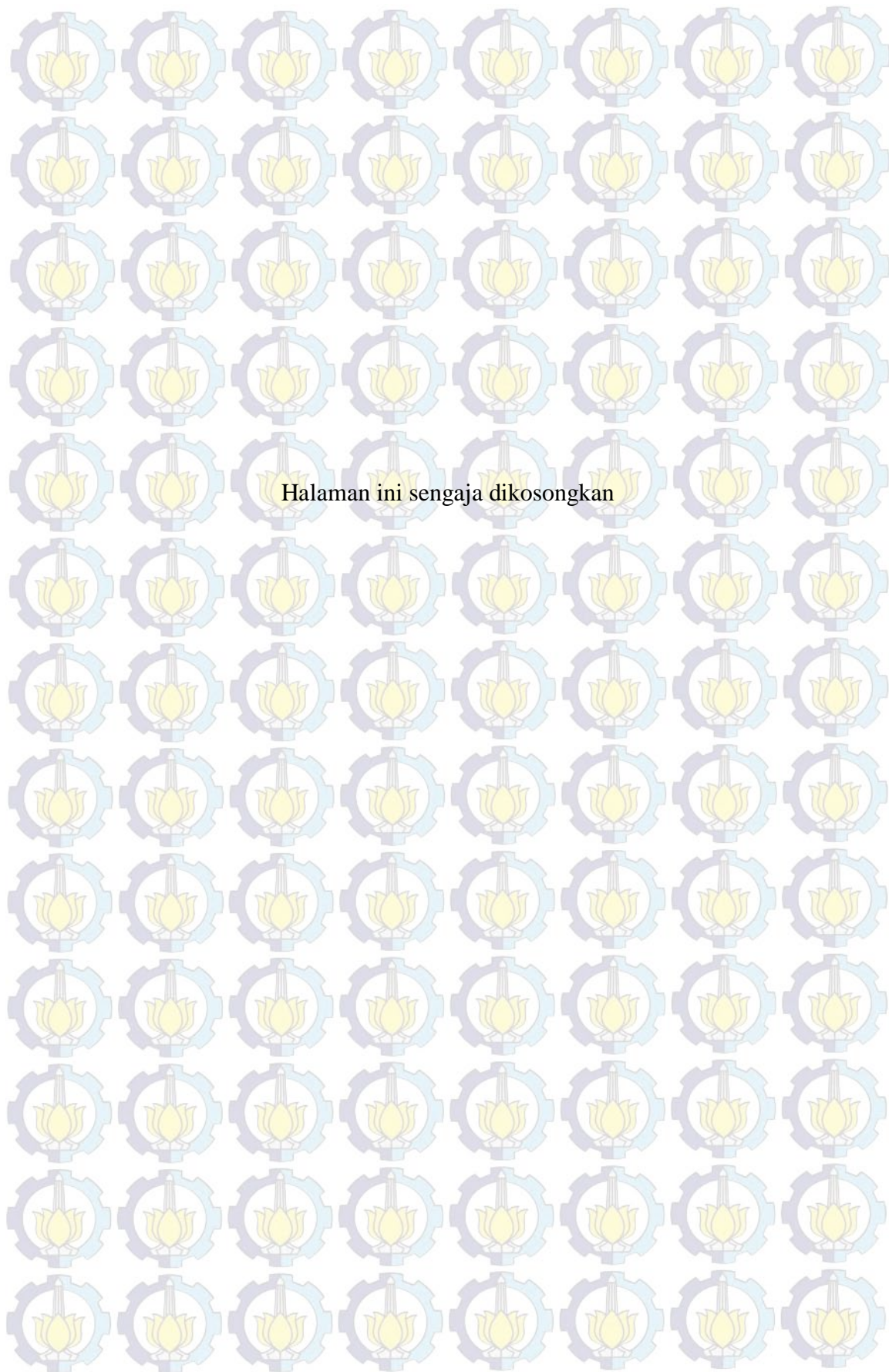
dihasilkan mempunyai deviasi yang cukup besar pada perhitungan nilai rata- rata dari 3 percobaan MMNF subyek C, sehingga sulit untuk mengklasifikasikan dengan nilai deviasi yang cukup besar.

Pada proses Ekstraksi Ciri menggunakan metode Modified Median Frekuensi (MMDF) terdapat kelompok kemiripan pola sinyal yang tidak sama pada tiap subyek. Pada proses Ekstraksi Ciri subyek A menggunakan metode Modified Median Frekuensi (MMDF) menghasilkan 2 klasifikasi sinyal yang mirip. Gerakan Flexion shoulder dapat dikenali oleh nilai MMDF otot supraspinatus. Gerakan Resting, abduction, external rotation, dan internal rotation dapat dibedakan oleh otot infraspinatus. Ekstraksi ciri MMDF pada subyek B menghasilkan 2 kelompok kemiripan sinyal. Gerakan Flexion, adduction, dan extension (kelompok mirip 1) bisa dibedakan oleh otot supraspinatus. Untuk keempat gerakan dari kelompok mirip 2 (Resting, abduction, external rotation dan internal rotation) dapat dibedakan oleh otot infraspinatus. Ekstraksi ciri MMDF pada subyek C menghasilkan 2 kelompok kemiripan sinyal. Gerakan Flexion bisa dibedakan oleh otot Teres Mayor. Untuk gerakan resting, dan gerakan abduction dapat dibedakan oleh otot infraspinatus.

5.2. Rencana Lanjutan

Pengembangan Penelitian di bidang biomedic khususnya mempelajari Pola Sinyal Electromyograph masih sangat luas. Dari hasil penelitian ini masih perlu dilakukan beberapa pengembangan seperti :

- Pengaturan penguatan otomatis sebelum dilakukan pengambilan data EMG, agar data EMG yang didapatkan bisa tergambar secara utuh. (tidak cacat).
- Pengaturan on line system pada akuisisi data sebagai pengembangan penelitian.
- Pemilihan ekstraksi ciri yang lebih cepat untuk mendukung system pengenalan pola secara on line.



Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sarbast Rasheed (2006), *A Multiclassifier Approach to Motor Unit Potential Classification for EMG Signal Decomposition*, Tesis Ph.D., University of Waterloo, Ontario, Canada.
- [2] Jun-Uk Chu, Inhyuk Moon, and Mu Seong Mun, *A Real Time EMG Pattern Recognition System Based on Linear-NonLinear Feature Projection for a Multifunction Myoelectric Hand*, IEEE Transaction on Biomedical Engineering vol 53 no 11, November 2006.
- [3] Ericka Janet Rechy – Ramirez and Huosheng Hu, *Stages for Developing Control Systems Using EMG and EEG sinyal: A Survey*, Technical Report: CES-513, School of Computer Science and Electronic Engineering, University of Essex, United Kingdom.
- [4] Nan Bu, Masaru Okamoto and Toshio Tsuji, *A Hybrid Motion Classification Approach for EMG- Based Human – Robot Interfaces Using Bayesian and Neural Network*, IEEE Transaction on Robotics vol 25 no 3, June 2009.
- [5] T. Moritani, D. Stegeman , R. Merletti, *Basic Physiologi and Biophysics of EMG Signal Generation*, Institut for Electrical and Electronics Engineerings Inc. 2004.
- [6] Toshio Tsuji, Osamu Fukuda, Hiroyuki Ichinobe, and Makoto Kaneko, *A Log – Linearized Gaussian Mixture Network and its Application to EEG Pattern Classification*, IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics – Part C : Applications and Reviews. vol 29 no 1, February 1999
- [7] biomed.brown.edu/Courses/BI108/BI108_2004_Groups/Group01/bioghj.htm,
Glenohumeral Joint.
- [8] Shoulder Articulation,
<http://www.exrx.net/Articulations/Shoulder.html#anchor105322> (1)
- [9] Bill Seller, *Introduction to EMG*,
<http://mac-huwis.lut.ac.uk/~wis/lectures/>

- 
- [10] Angkoon Phinyomark, Chusak Limsakul, and Pornchai Phukpattaranont, *A Novel Feature Extraction for Robust EMG Pattern Recognition*, Journal of Computing, volume 1, ISSUE 1, December 2009, ISSN: 2151-9617.
- [11] Fredric M. Ham, Ivica Kostanic, *Principles of Neurocomputing for Science & Engineering*, McGraw-Hill International Edition, New York, 2001
- [12] Frederic H. Martini, *Fundamental of Anatomy & Physiology, fifth edition*, Prentice Hall International Edition, New Jersey, 2009
- [13] Curtis D. Johnson, *Process Control Instrumentation Technology, fifth edition*, Prentice Hall International, New Jersey, 1997
- [14] T. Kugelstadt, *Chapter 16 Active Filter Design Techniques*, Literature Number SLOA088, Texas Instruments (<http://www.dee.ufcg.edu.br/~gutemb/Active%20Filter%20Design.pdf>)
- [15] M. Rivai, Diktat Kuliah Rangkaian Elektronika, Program Pascasarjana Teknik Elektro Bidang Keahlian Teknik Elektronika, ITS, 2010
- [16] Atmel AVR X-Mega A Manual, www.atmel.com/Images/doc8077.pdf

DAFTAR LAMPIRAN

1. Lampiran 1 : Ekstraksi Ciri Linear Envelope Subyek A
2. Lampiran 2 : Ekstraksi Ciri Linear Envelope Subyek B
3. Lampiran 3 : Ekstraksi Ciri Linear Envelope Subyek C
4. Lampiran 4 : Ekstraksi Ciri MMNF Subyek A
5. Lampiran 5 : Ekstraksi Ciri MMNF Subyek B
6. Lampiran 6 : Ekstraksi Ciri MMNF Subyek C
7. Lampiran 7 : Ekstraksi Ciri MMDF Subyek A
8. Lampiran 8 : Ekstraksi Ciri MMDF Subyek B
9. Lampiran 9 : Ekstraksi Ciri MMDF Subyek C



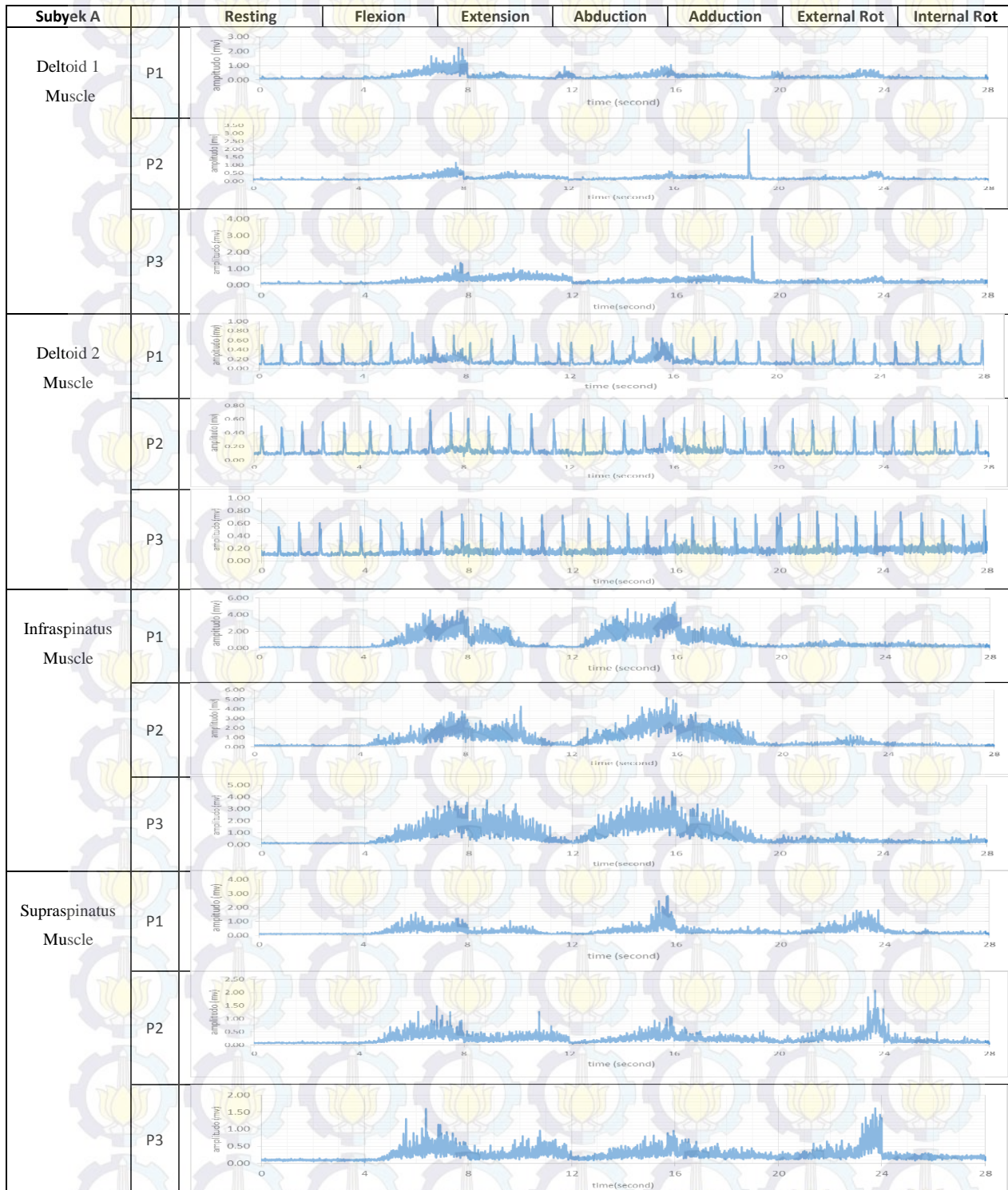
DAFTAR LAMPIRAN

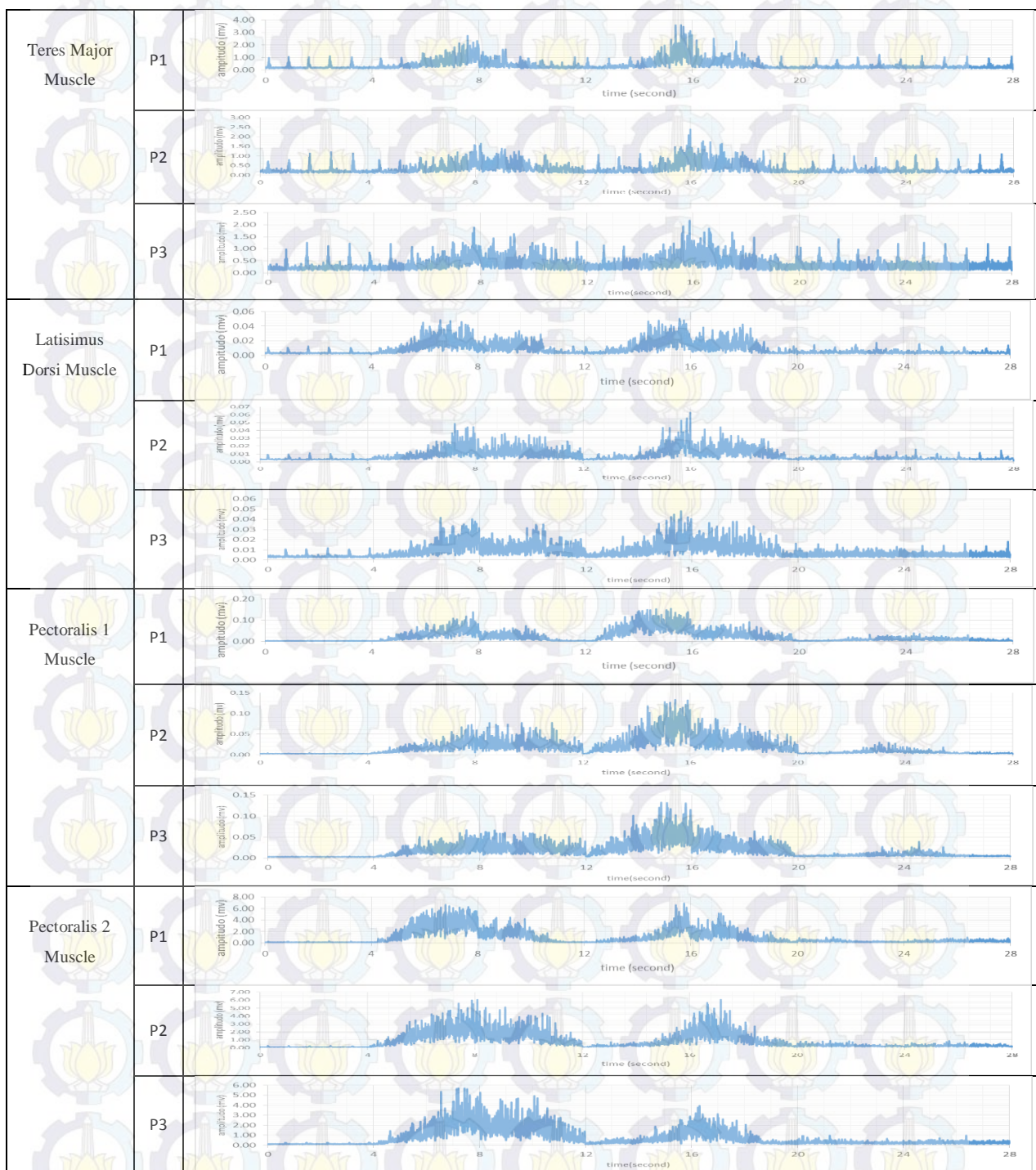
1. Lampiran 1 : Ekstraksi Ciri Linear Envelope Subyek A
2. Lampiran 2 : Ekstraksi Ciri Linear Envelope Subyek B
3. Lampiran 3 : Ekstraksi Ciri Linear Envelope Subyek C
4. Lampiran 4 : Ekstraksi Ciri MMNF Subyek A
5. Lampiran 5 : Ekstraksi Ciri MMNF Subyek B
6. Lampiran 6 : Ekstraksi Ciri MMNF Subyek C
7. Lampiran 7 : Ekstraksi Ciri MMDF Subyek A
8. Lampiran 8 : Ekstraksi Ciri MMDF Subyek B
9. Lampiran 9 : Ekstraksi Ciri MMDF Subyek C

LAMPIRAN 1

Ekstraksi Ciri Linear Envelope Subyek A

Hasil plot Proses Ekstraksi ciri Linear Envelope





Tabel Data Energi Maksimum dan perubahan level energy pada tiap detik.

POLA GERAK RESTING SHOULDER								
otot	detik ke							
	0 sd. 1		1 sd. 2		2 sd. 3		3 sd. 4	
	V max	dv/dt	Vmax	dv/dt	Vmax	dv/dt	vmax	dv/dt
	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)
deltoid 1	0.265	0.026	0.273	-0.016	0.269	0.016	0.284	-0.070
deltoid 2	0.522	0.006	0.575	-0.020	0.593	0.016	0.531	0.096
infraspinatus	0.202	0.009	0.218	0.046	0.238	-0.041	0.191	0.093
supraspinatus	0.140	0.013	0.130	0.008	0.164	-0.040	0.163	0.090
teres major	1.061	0.009	1.052	0.014	1.121	-0.023	1.045	0.083
Latisimus dorsi	0.011	0.000	0.013	0.000	0.011	0.000	0.011	0.072
pectoralis 1	0.004	0.000	0.004	0.000	0.004	0.000	0.004	0.065
pectoralis 2	0.264	0.058	0.291	-0.022	0.359	-0.008	0.293	0.063

POLA GERAK FLEXION SHOULDER								
otot	detik ke							
	0 sd. 1		1 sd. 2		2 sd. 3		3 sd. 4	
	V max	dv/dt	Vmax	dv/dt	Vmax	dv/dt	vmax	dv/dt
	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)
deltoid 1	0.294	-0.037	0.755	0.201	1.693	0.120	2.274	0.588
deltoid 2	0.588	0.017	0.769	0.018	0.677	0.016	0.712	0.094
infraspinatus	1.043	0.212	3.029	2.388	4.616	-0.410	4.522	1.181
supraspinatus	0.535	0.173	1.504	0.496	1.662	-0.285	1.236	0.423
teres major	0.941	0.114	1.365	0.185	1.618	0.130	2.747	1.135
Latisimus dorsi	0.012	0.004	0.045	0.010	0.048	-0.002	0.046	-0.012
pectoralis 1	0.035	0.018	0.070	0.009	0.095	0.042	0.140	-0.007
pectoralis 2	2.412	0.847	5.365	2.665	6.669	0.417	6.307	-0.144

POLA GERAK EXTENSION SHOULDER								
otot	detik ke							
	0 sd. 1		1 sd. 2		2 sd. 3		3 sd. 4	
	V max	dv/dt	Vmax	dv/dt	Vmax	dv/dt	vmax	dv/dt
	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)
deltoid 1	0.536	0.049	0.581	0.109	0.412	-0.187	0.961	0.051
deltoid 2	0.640	0.285	0.709	-0.295	0.527	-0.014	0.552	0.009
infraspinatus	3.449	0.128	2.609	0.280	0.818	-0.673	0.641	-0.024
supraspinatus	0.612	0.136	1.058	0.357	0.719	-0.509	0.257	0.036
teres major	1.646	0.851	1.668	-1.106	0.809	-0.233	1.047	-0.149
Latisimus dorsi	0.030	0.010	0.034	-0.006	0.029	-0.008	0.013	0.000
pectoralis 1	0.064	-0.007	0.075	0.033	0.058	-0.045	0.009	-0.001
pectoralis 2	4.439	-0.806	4.479	0.560	2.215	0.014	0.400	-0.182

POLA GERAK ABDUCTION SHOULDER								
otot	detik ke							
	0 sd. 1		1 sd. 2		2 sd. 3		3 sd. 4	
	V max	dv/dt	Vmax	dv/dt	Vmax	dv/dt	vmax	dv/dt
	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)
deltoid 1	0.441	0.004	0.473	0.018	0.568	0.138	1.078	0.150
deltoid 2	0.560	0.005	0.592	0.061	0.683	0.175	0.656	0.315
infraspinatus	2.263	0.004	3.917	0.768	4.758	1.258	5.531	1.381
supraspinatus	0.317	0.004	0.824	0.182	0.993	0.313	2.859	0.152
teres major	0.985	0.004	1.033	0.158	1.979	0.827	3.610	1.359
Latisimus dorsi	0.013	0.004	0.024	0.006	0.048	0.017	0.050	0.008
pectoralis 1	0.079	0.004	0.141	0.048	0.154	0.009	0.156	0.005
pectoralis 2	0.722	0.004	1.347	0.167	3.121	0.841	6.918	0.039

POLA GERAK ADDUCTION SHOULDER								
otot	detik ke							
	0 sd. 1		1 sd. 2		2 sd. 3		3 sd. 4	
	V max	dv/dt	Vmax	dv/dt	Vmax	dv/dt	vmax	dv/dt
	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)
deltoid 1	0.446	-0.251	0.525	0.039	0.501	-0.036	0.616	-0.110
deltoid 2	0.670	-0.124	0.680	-0.015	0.604	-0.011	0.584	-0.022
infraspinatus	3.673	-0.238	2.820	-0.834	2.951	-0.128	0.646	-0.259
supraspinatus	0.749	-0.316	0.520	-0.017	0.663	-0.053	0.549	-0.052
teres major	2.539	-0.055	2.307	0.055	1.100	-0.323	1.113	-0.021
Latisimus dorsi	0.039	-0.001	0.043	-0.004	0.037	-0.004	0.013	-0.003
pectoralis 1	0.080	-0.016	0.082	-0.006	0.093	-0.017	0.045	-0.003
pectoralis 2	4.294	0.987	5.186	-0.986	2.606	1.223	1.854	-1.808

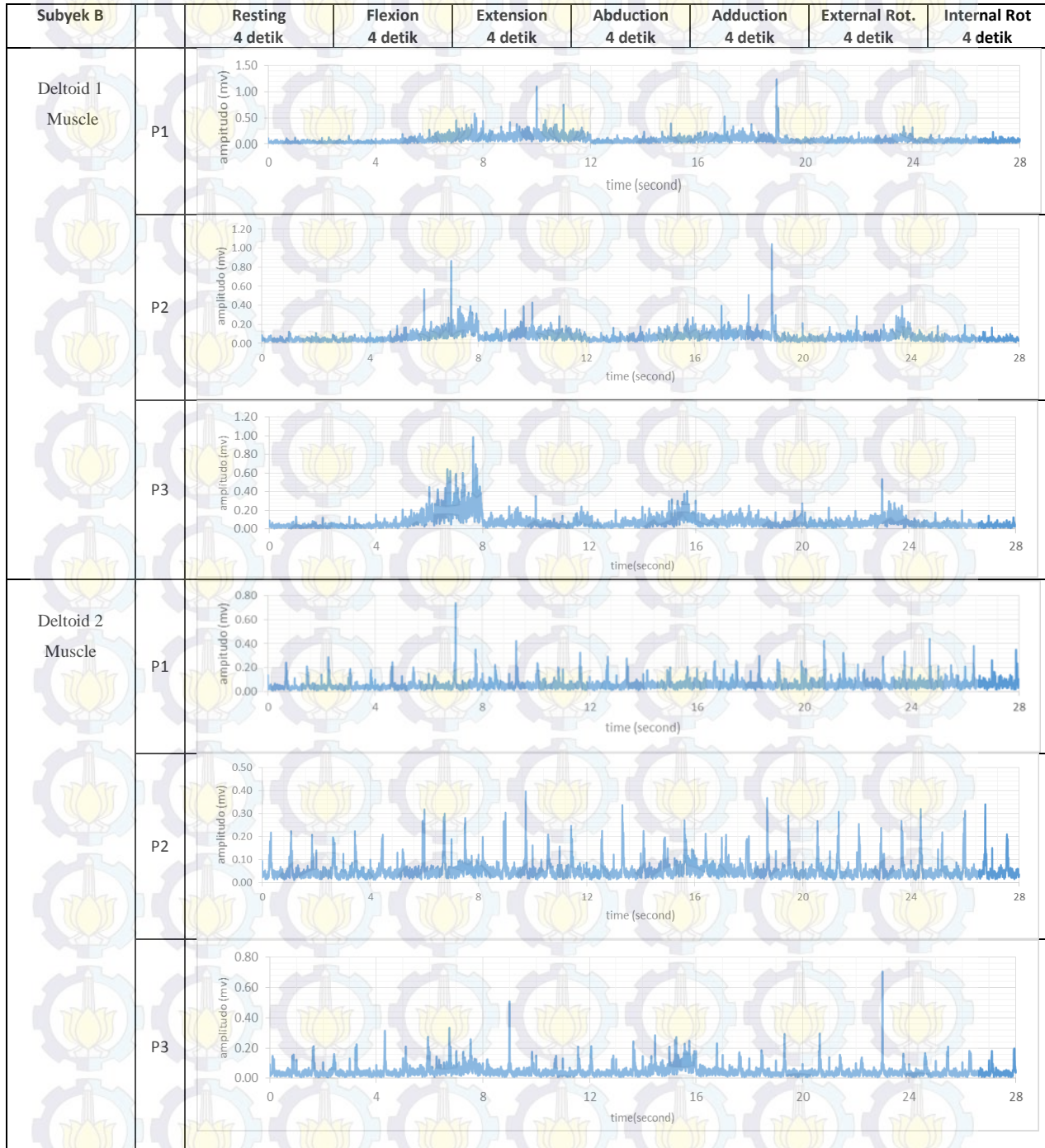
POLA GERAK EXTERNAL ROTATION SHOULDER								
otot	detik ke							
	0 sd. 1		1 sd. 2		2 sd. 3		3 sd. 4	
	V max	dv/dt	Vmax	dv/dt	Vmax	dv/dt	vmax	dv/dt
	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)
deltoid 1	0.524	-0.208	0.346	-0.007	0.678	0.288	0.793	-0.292
deltoid 2	0.634	-0.017	0.572	-0.042	0.637	0.536	0.633	-0.550
infraspinatus	0.665	0.165	0.989	-0.072	1.148	0.021	0.756	0.335
supraspinatus	0.384	0.156	0.990	0.274	1.810	0.256	1.831	-0.622
teres major	0.978	0.124	0.840	-0.031	1.067	0.547	1.237	-0.911
Latisimus dorsi	0.015	0.003	0.012	-0.002	0.018	0.003	0.010	-0.006
pectoralis 1	0.007	0.002	0.021	0.001	0.033	0.010	0.030	-0.010
pectoralis 2	0.928	-0.040	1.039	-0.291	0.393	0.178	0.387	-0.279

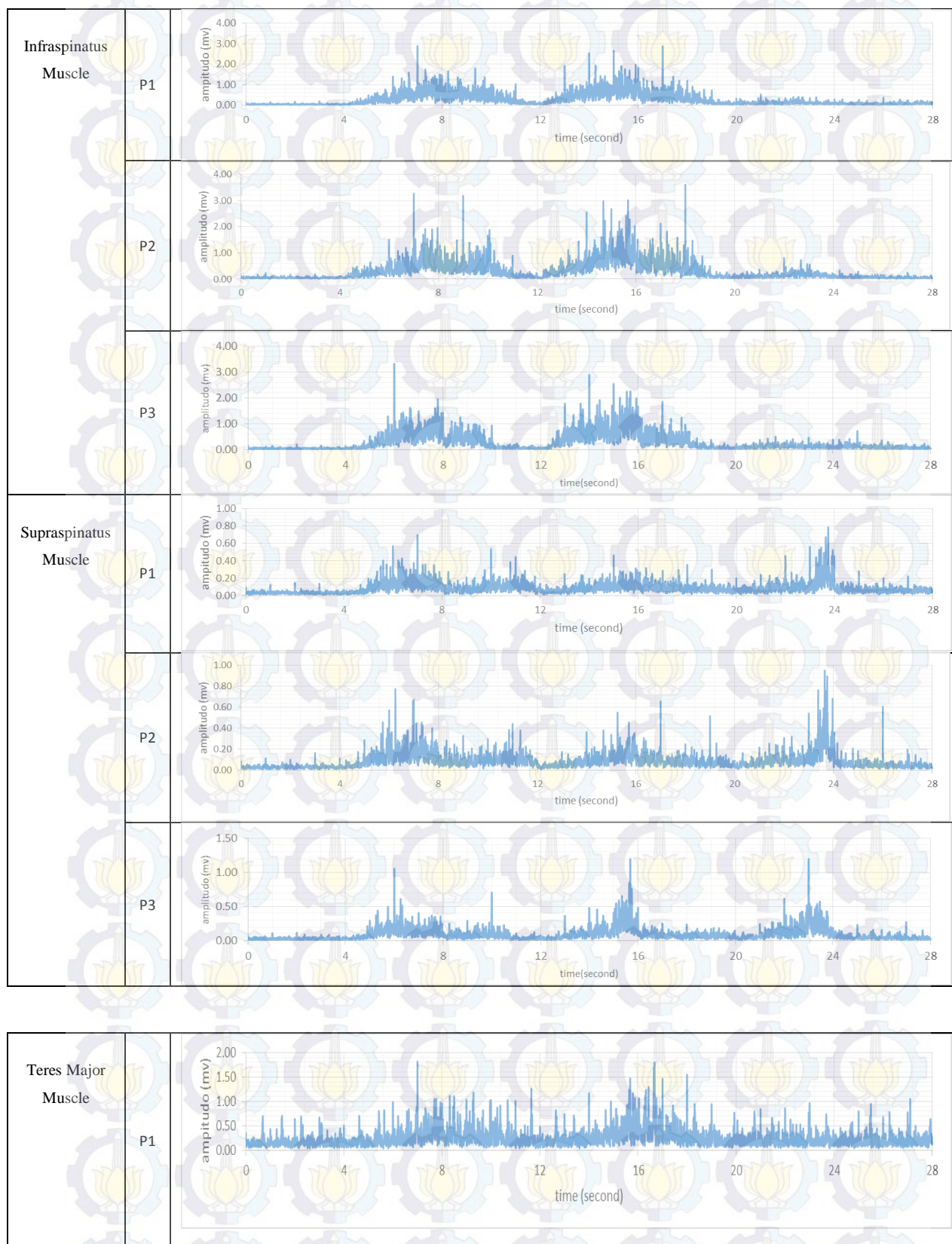
POLA GERAK INTERNAL ROTATION SHOULDER								
otot	detik ke							
	0 sd. 1		1 sd. 2		2 sd. 3		3 sd. 4	
	V max	dv/dt	Vmax	dv/dt	Vmax	dv/dt	vmax	dv/dt
	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)
deltoid 1	0.386	0.054	0.310	0.006	0.311	-0.024	0.358	-0.018
deltoid 2	0.578	-0.024	0.580	0.006	0.500	0.007	0.609	0.043
infraspinatus	0.959	-0.014	0.757	-0.262	0.525	-0.075	0.548	-0.069
supraspinatus	0.466	-0.121	0.483	-0.081	0.298	0.014	0.337	-0.156
teres major	1.151	-0.127	1.042	-0.031	1.093	0.087	1.106	-0.157
Latisimus dorsi	0.016	0.000	0.012	0.000	0.012	0.000	0.014	-0.002
pectoralis 1	0.041	0.005	0.026	-0.010	0.031	-0.008	0.015	0.000
pectoralis 2	0.684	0.004	0.839	0.243	0.992	-0.046	0.865	-0.170

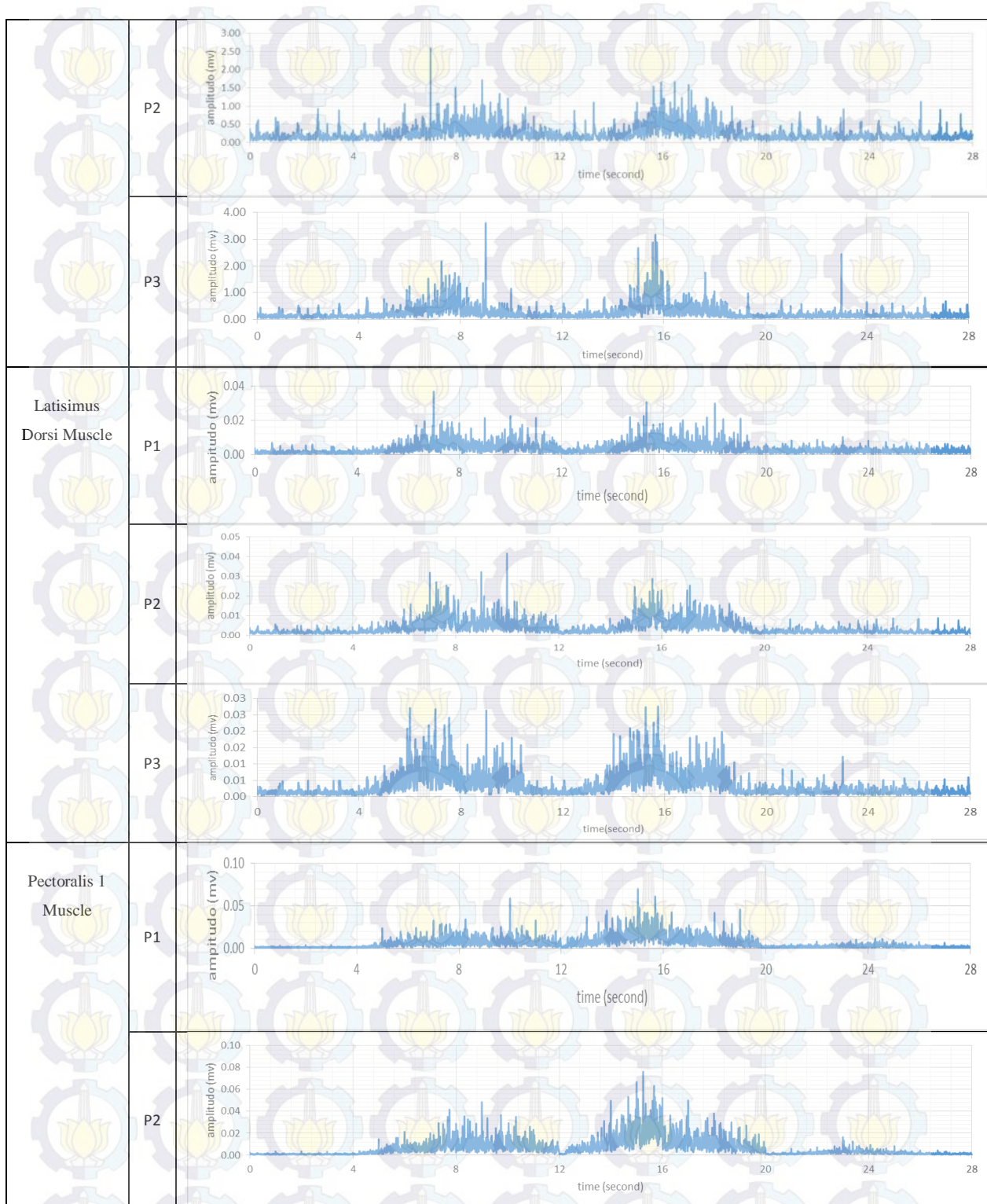
LAMPIRAN 2

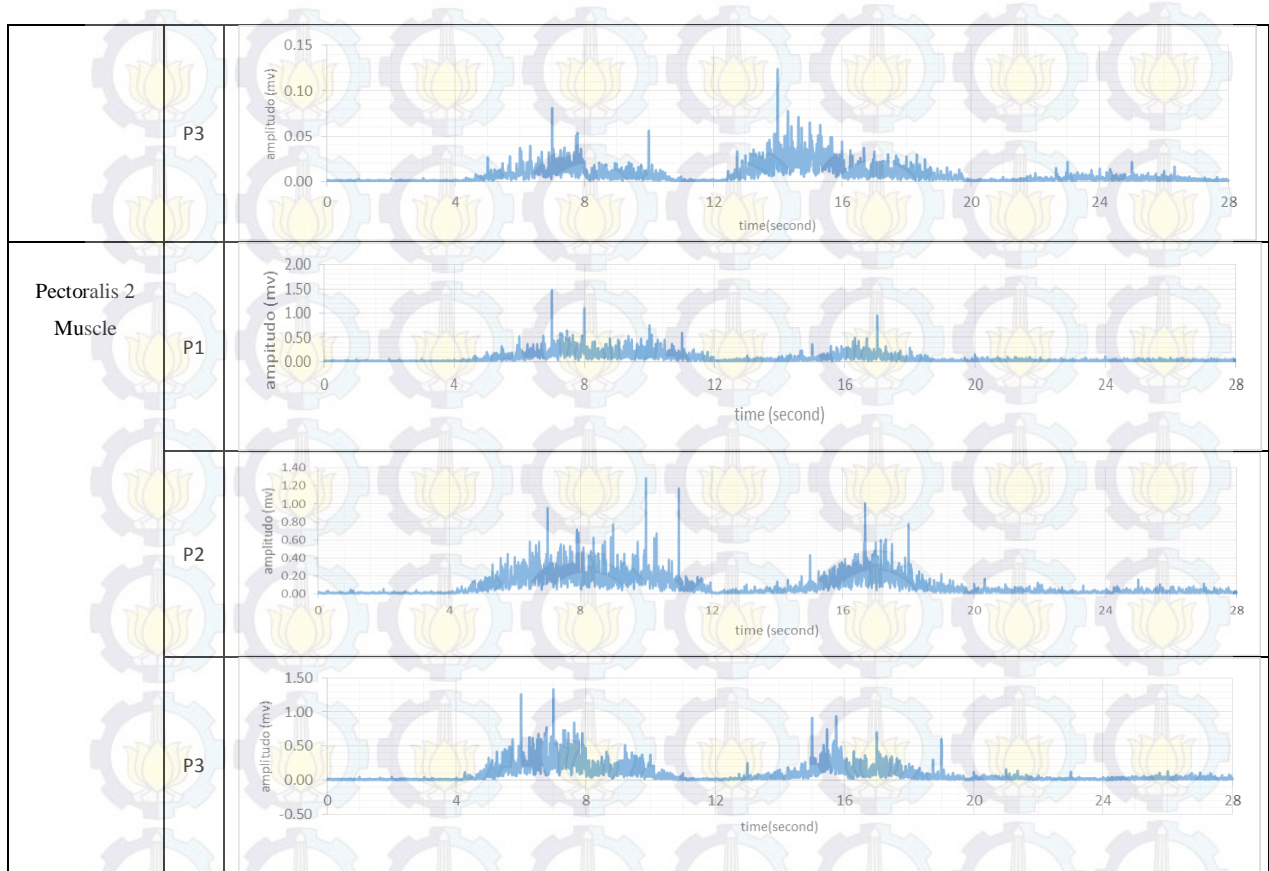
Ekstraksi Ciri Linear Envelope Subyek B

Hasil Plot Proses Ekstraksi ciri Linear Envelope :









Tabel Data Energi maksimum dan perubahan level energy pada tiap detik. (Subyek B)

POLA GERAK RESTING SHOULDER								
otot	detik ke							
	0 sd. 1		1 sd. 2		2 sd. 3		3 sd. 4	
	V max	dv/dt	Vmax	dv/dt	Vmax	dv/dt	vmax	dv/dt
	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)
deltoid 1	0.118	0.009	0.118	-0.006	0.151	0.038	0.160	-0.129
deltoid 2	0.243	-0.026	0.211	0.027	0.287	-0.023	0.190	-0.054
infraspinatus	0.144	0.113	0.167	0.027	0.183	0.015	0.187	-0.056
supraspinatus	0.121	0.020	0.139	0.018	0.147	-0.005	0.137	-0.060
teres major	0.697	0.077	0.701	0.223	0.687	0.026	0.666	-0.066
Latisimus dorsi	0.007	0.001	0.006	0.000	0.006	-0.001	0.005	-0.073
pectoralis 1	0.003	0.000	0.004	0.001	0.004	0.000	0.003	-0.081
pectoralis 2	0.047	0.021	0.049	0.001	0.055	0.006	0.058	-0.088

POLA GERAK FLEXION SHOULDER								
otot	detik ke							
	0 sd. 1		1 sd. 2		2 sd. 3		3 sd. 4	
	V max	dv/dt	Vmax	dv/dt	Vmax	dv/dt	vmax	dv/dt
	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)
deltoid 1	0.189	0.087	0.270	0.081	0.443	0.172	0.584	-0.338
deltoid 2	0.246	0.027	0.203	0.014	0.716	0.572	0.738	-0.718
infraspinatus	0.484	0.370	1.375	0.905	2.793	-0.572	2.892	-2.585
supraspinatus	0.197	0.127	0.569	0.372	0.689	-0.400	0.696	-0.661
teres major	0.700	-0.230	0.984	0.708	1.547	0.568	1.813	-1.506
Latisimus dorsi	0.006	0.002	0.011	0.006	0.035	0.024	0.037	-0.030
pectoralis 1	0.023	0.021	0.023	-0.005	0.032	0.014	0.032	-0.028
pectoralis 2	0.197	0.155	0.515	0.318	1.389	0.871	1.478	-1.331

POLA GERAK EXTENSION SHOULDER								
otot	detik ke							
	0 sd. 1		1 sd. 2		2 sd. 3		3 sd. 4	
	V max	dv/dt	Vmax	dv/dt	Vmax	dv/dt	vmax	dv/dt
	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)
deltoid 1	0.442	-0.035	1.098	0.690	1.102	-0.354	0.753	-0.678
deltoid 2	0.224	-0.294	0.423	0.000	0.239	0.034	0.326	-0.166
infraspinatus	1.646	-1.181	1.804	0.174	1.021	-0.015	1.028	-0.984
supraspinatus	0.272	0.058	0.531	0.324	0.538	-0.130	0.444	-0.376
teres major	1.104	0.075	1.178	-0.014	1.024	-0.061	1.255	-0.931
Latisimus dorsi	0.021	0.007	0.021	0.000	0.022	0.000	0.021	-0.020
pectoralis 1	0.034	0.000	0.059	0.040	0.058	-0.028	0.033	-0.025
pectoralis 2	1.101	-0.520	0.748	0.561	0.749	0.095	0.593	-0.507

POLA GERAK ABDUCTION SHOULDER								
otot	detik ke							
	0 sd. 1		1 sd. 2		2 sd. 3		3 sd. 4	
	V max	dv/dt	Vmax	dv/dt	Vmax	dv/dt	vmax	dv/dt
	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)
deltoid 1	0.184	-0.001	0.220	-0.127	0.390	-0.173	0.393	-0.304
deltoid 2	0.292	-0.001	0.277	-0.106	0.200	-0.097	0.207	-0.164
infraspinatus	1.858	-0.001	2.488	0.597	2.551	0.155	2.653	-1.828
supraspinatus	0.248	0.000	0.248	-0.192	0.456	-0.123	0.463	-0.392
teres major	0.814	0.001	1.163	-0.602	1.163	-1.081	1.467	-0.409
Latisimus dorsi	0.007	0.002	0.009	-0.002	0.022	-0.004	0.030	-0.009
pectoralis 1	0.034	0.003	0.044	-0.023	0.070	-0.022	0.070	-0.054
pectoralis 2	0.124	0.003	0.124	-0.092	0.357	-0.028	0.357	-0.197

POLA GERAK ADDUCTION SHOULDER								
otot	detik ke							
	0 sd. 1		1 sd. 2		2 sd. 3		3 sd. 4	
	V max	dv/dt	Vmax	dv/dt	Vmax	dv/dt	vmax	dv/dt
	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)
deltoid 1	0.508	0.298	0.528	-0.157	1.239	0.246	0.691	-0.566
deltoid 2	0.256	-0.047	0.259	-0.008	0.297	0.084	0.268	-0.208
infraspinatus	2.884	1.146	2.852	-1.699	1.198	-0.452	0.723	-0.615
supraspinatus	0.317	0.028	0.353	0.072	0.354	-0.069	0.300	-0.232
teres major	1.796	0.543	1.535	0.140	1.542	-0.661	0.939	-0.751
Latisimus dorsi	0.020	-0.003	0.030	0.022	0.030	-0.011	0.021	-0.018
pectoralis 1	0.042	-0.003	0.042	0.015	0.044	0.002	0.046	-0.042
pectoralis 2	0.949	0.771	0.945	-0.944	0.287	-0.226	0.077	-0.046

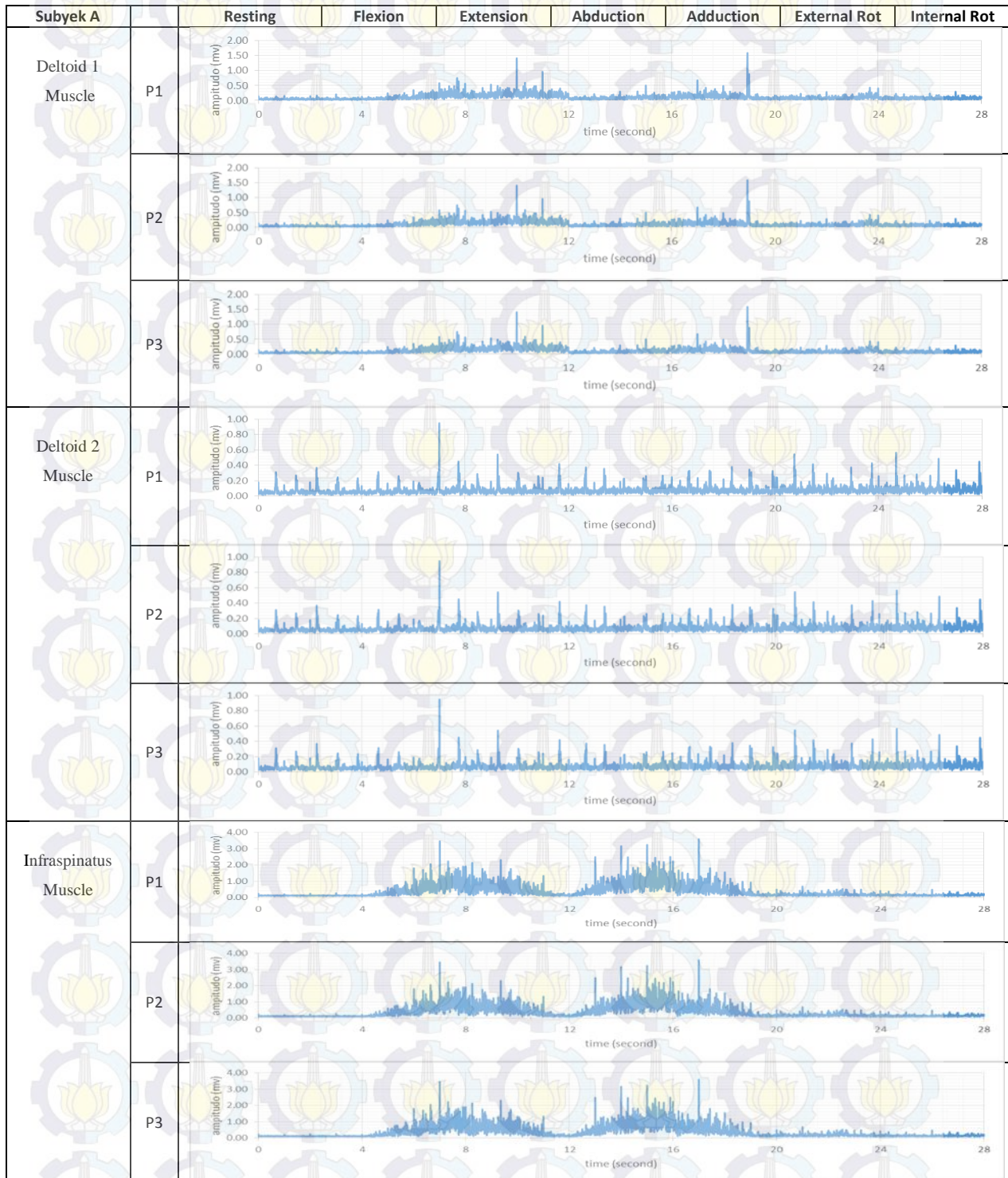
POLA GERAK EXTERNAL ROTATION SHOULDER								
otot	detik ke							
	0 sd. 1		1 sd. 2		2 sd. 3		3 sd. 4	
	V max	dv/dt	Vmax	dv/dt	Vmax	dv/dt	vmax	dv/dt
	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)
deltoid 1	0.176	0.010	0.213	-0.023	0.223	-0.105	0.336	-0.063
deltoid 2	0.424	-0.013	0.323	0.031	0.291	-0.143	0.335	-0.056
infraspinatus	0.524	0.178	0.522	-0.259	0.414	-0.106	0.387	-0.245
supraspinatus	0.240	0.033	0.451	0.137	0.534	-0.047	0.788	-0.106
teres major	0.837	0.499	0.843	-0.071	0.944	-0.036	0.961	-0.820
Latisimus dorsi	0.008	0.003	0.008	-0.001	0.010	0.000	0.010	-0.008
pectoralis 1	0.005	0.002	0.008	0.003	0.008	-0.002	0.010	-0.005
pectoralis 2	0.146	-0.008	0.100	-0.031	0.084	-0.038	0.084	-0.039

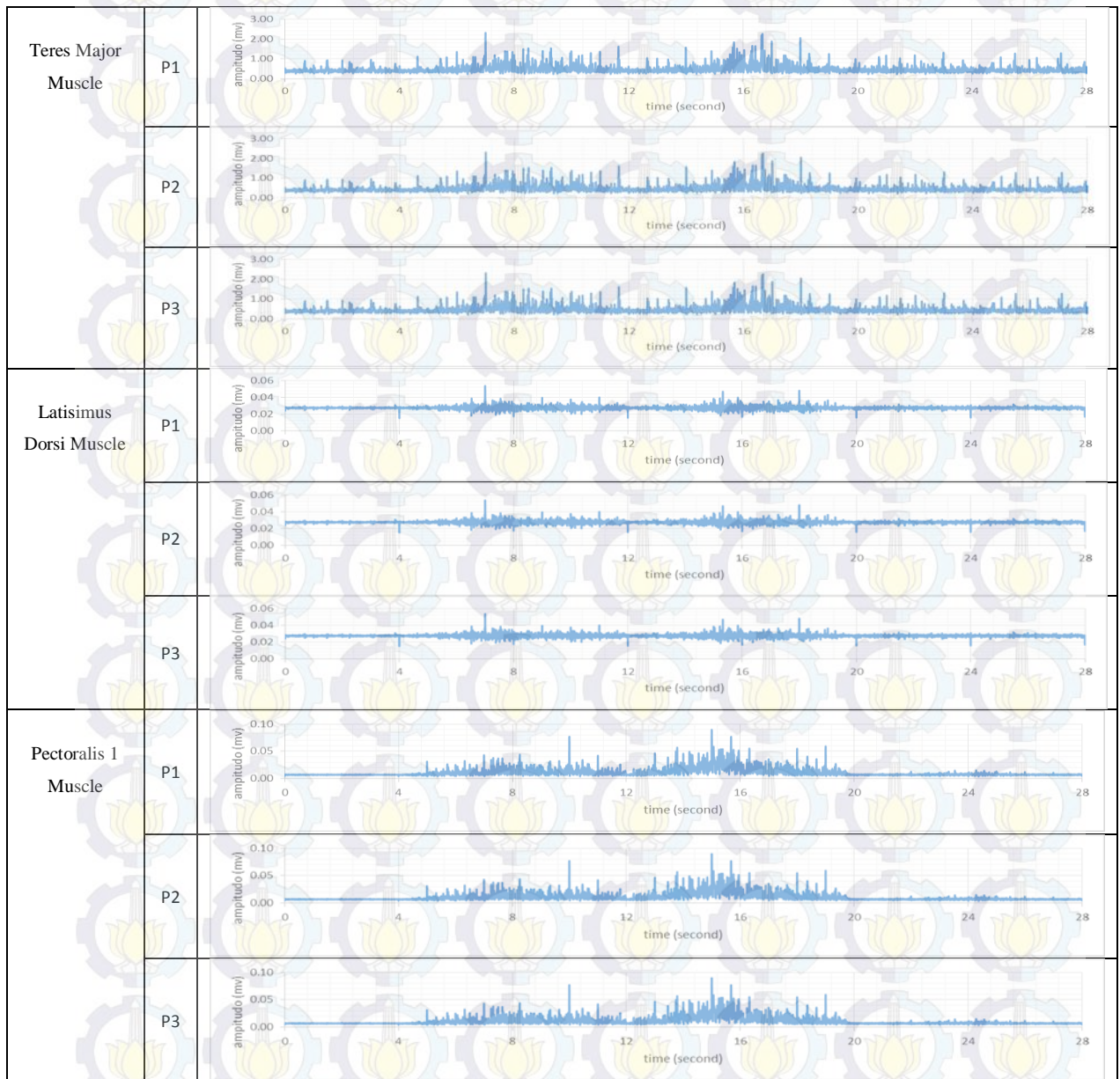
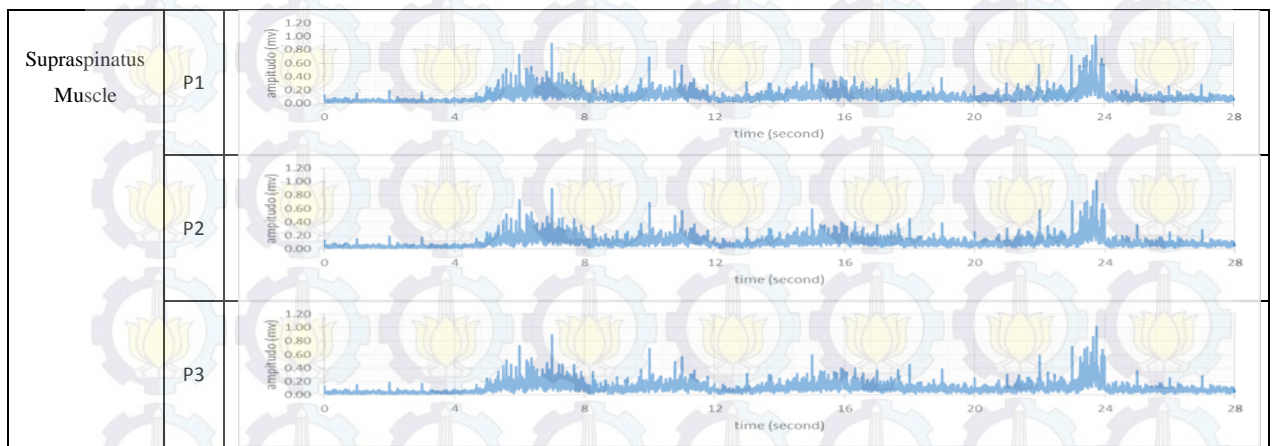
POLA GERAK INTERNAL ROTATION SHOULDER								
otot	detik ke							
	0 sd. 1		1 sd. 2		2 sd. 3		3 sd. 4	
	V max	dv/dt	Vmax	dv/dt	Vmax	dv/dt	vmax	dv/dt
	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)
deltoid 1	0.317	-0.182	0.175	-0.037	0.226	-0.017	0.230	-0.142
deltoid 2	0.440	-0.021	0.221	-0.046	0.380	-0.021	0.350	-0.160
infraspinatus	0.292	-0.039	0.370	0.044	0.370	-0.227	0.241	-0.065
supraspinatus	0.285	-0.001	0.278	-0.127	0.218	-0.015	0.222	-0.169
teres major	0.777	0.421	0.948	-0.251	0.778	-0.136	1.046	-0.595
Latisimus dorsi	0.008	-0.002	0.007	0.001	0.007	-0.001	0.006	-0.003
pectoralis 1	0.011	0.002	0.009	-0.002	0.007	-0.002	0.006	-0.005
pectoralis 2	0.109	-0.013	0.082	0.009	0.082	-0.030	0.069	-0.013

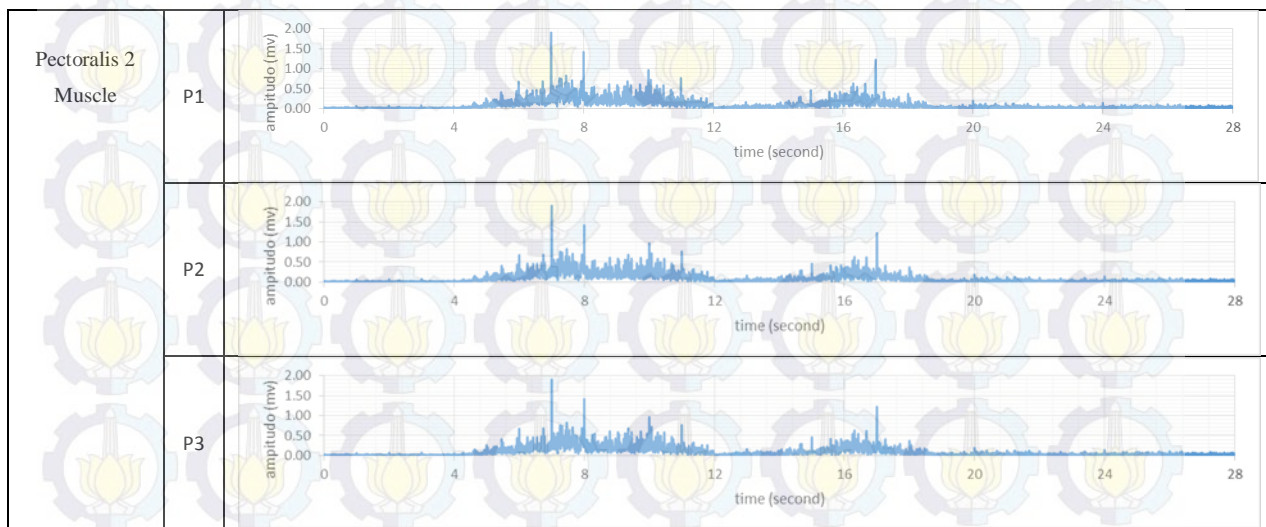
LAMPIRAN 3

Ekstraksi Ciri Linear Envelope Subyek C

Hasil plot Proses Ekstraksi ciri Linear Envelope







Tabel Data Energi Maksimum dan perubahan level energy pada tiap detik. (Subyek C)

POLA GERAK RESTING SHOULDER								
otot	detik ke							
	0 sd. 1		1 sd. 2		2 sd. 3		3 sd. 4	
	V max	dv/dt	Vmax	dv/dt	Vmax	dv/dt	vmax	dv/dt
	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)
deltoid 1	0.152	0.011	0.152	-0.008	0.195	0.050	0.207	-0.167
deltoid 2	0.312	-0.036	0.270	0.035	0.370	-0.031	0.246	-0.072
infraspinatus	0.240	0.110	0.224	0.026	0.250	0.013	0.270	-0.075
supraspinatus	0.154	0.023	0.179	0.025	0.189	-0.009	0.174	-0.080
teres major	0.904	0.220	0.932	0.284	0.956	0.048	0.957	-0.088
Latisimus dorsi	0.030	0.003	0.029	0.002	0.029	0.000	0.031	-0.097
pectoralis 1	0.008	0.002	0.008	0.001	0.008	0.000	0.008	-0.107
pectoralis 2	0.059	0.025	0.064	0.005	0.070	0.006	0.075	-0.117

POLA GERAK FLEXION SHOULDER								
otot	detik ke							
	0 sd. 1		1 sd. 2		2 sd. 3		3 sd. 4	
	V max	dv/dt	Vmax	dv/dt	Vmax	dv/dt	vmax	dv/dt
	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)
deltoid 1	0.244	0.115	0.349	0.105	0.569	0.219	0.752	-0.433
deltoid 2	0.316	0.034	0.262	0.017	0.922	0.737	0.950	-0.923
infraspinatus	0.617	0.397	1.760	1.150	3.390	-0.764	3.470	-3.059
supraspinatus	0.252	0.161	0.731	0.480	0.885	-0.513	0.894	-0.848
teres major	1.121	-0.154	1.355	0.894	2.073	0.732	2.315	-1.921
Latisimus dorsi	0.030	0.005	0.032	0.003	0.054	0.023	0.054	-0.027
pectoralis 1	0.031	0.027	0.031	-0.006	0.043	0.018	0.043	-0.036
pectoralis 2	0.253	0.200	0.663	0.409	1.787	1.119	1.900	-1.710

POLA GERAK EXTENSION SHOULDER								
otot	detik ke							
	0 sd. 1		1 sd. 2		2 sd. 3		3 sd. 4	
	V max	dv/dt	Vmax	dv/dt	Vmax	dv/dt	vmax	dv/dt
	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)
deltoid 1	0.567	-0.044	1.411	0.887	1.417	-0.455	0.967	-0.872
deltoid 2	0.289	-0.377	0.543	0.001	0.306	0.043	0.419	-0.214
infraspinatus	2.138	-1.524	2.315	0.212	1.331	-0.022	1.338	-1.197
supraspinatus	0.349	0.075	0.683	0.416	0.692	-0.169	0.570	-0.482
teres major	1.536	0.215	1.532	0.003	1.389	-0.049	1.623	-1.078
Latisimus dorsi	0.040	0.007	0.038	0.000	0.040	0.003	0.039	-0.009
pectoralis 1	0.044	0.003	0.077	0.052	0.076	-0.036	0.042	-0.033
pectoralis 2	1.415	-0.669	0.962	0.721	0.964	0.123	0.763	-0.652

POLA GERAK ABDUCTION SHOULDER								
otot	detik ke							
	0 sd. 1		1 sd. 2		2 sd. 3		3 sd. 4	
	V max	dv/dt	Vmax	dv/dt	Vmax	dv/dt	vmax	dv/dt
	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)
deltoid 1	0.236	-0.001	0.283	-0.165	0.502	-0.221	0.506	-0.391
deltoid 2	0.375	-0.001	0.357	-0.137	0.257	-0.126	0.266	-0.210
infraspinatus	2.385	-0.001	3.111	0.673	3.172	0.219	3.248	-2.171
supraspinatus	0.320	0.000	0.319	-0.247	0.586	-0.154	0.596	-0.504
teres major	1.043	0.001	1.575	-0.724	1.570	-1.241	1.842	-0.549
Latisimus dorsi	0.031	0.002	0.032	-0.001	0.039	-0.001	0.047	-0.012
pectoralis 1	0.044	0.004	0.057	-0.031	0.090	-0.029	0.090	-0.068
pectoralis 2	0.160	0.005	0.161	-0.118	0.458	-0.036	0.459	-0.251

POLA GERAK ADDUCTION SHOULDER								
otot	detik ke							
	0 sd. 1		1 sd. 2		2 sd. 3		3 sd. 4	
	V max	dv/dt	Vmax	dv/dt	Vmax	dv/dt	vmax	dv/dt
	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)
deltoid 1	0.652	0.382	0.679	-0.200	1.594	0.318	0.889	-0.729
deltoid 2	0.331	-0.063	0.333	-0.010	0.381	0.111	0.346	-0.269
infraspinatus	3.603	1.482	3.558	-2.081	1.559	-0.588	0.935	-0.796
supraspinatus	0.407	0.037	0.455	0.093	0.455	-0.088	0.386	-0.299
teres major	2.262	0.781	2.048	0.198	2.049	-0.823	1.250	-0.951
Latisimus dorsi	0.035	0.003	0.048	0.021	0.047	-0.011	0.036	-0.020
pectoralis 1	0.055	-0.002	0.055	0.019	0.058	0.003	0.059	-0.053
pectoralis 2	1.220	0.992	1.214	-1.212	0.369	-0.292	0.098	-0.058

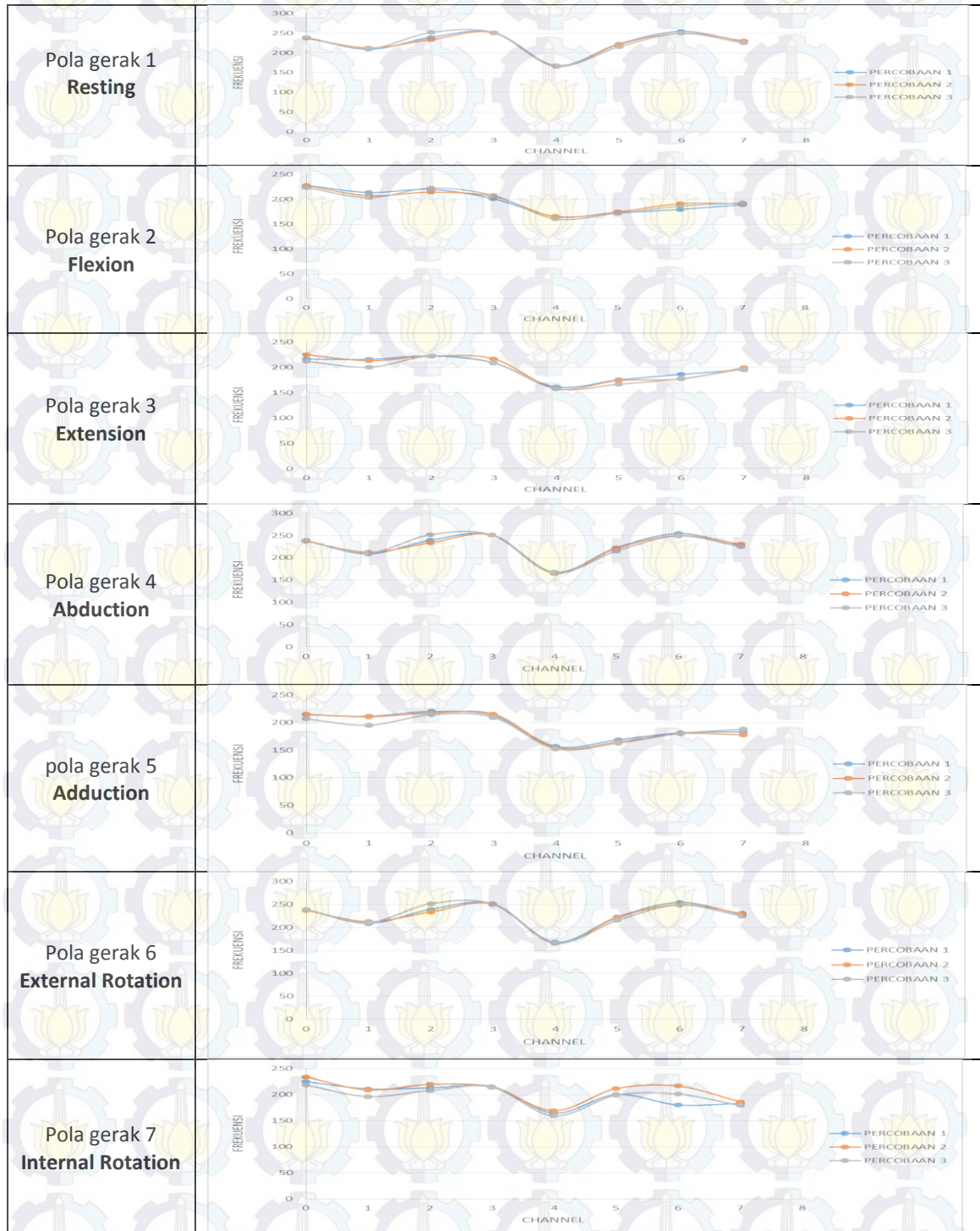
POLA GERAK EXTERNAL ROTATION SHOULDER								
otot	detik ke							
	0 sd. 1		1 sd. 2		2 sd. 3		3 sd. 4	
	V max	dv/dt	Vmax	dv/dt	Vmax	dv/dt	vmax	dv/dt
	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)
deltoid 1	0.227	0.014	0.274	-0.031	0.287	-0.133	0.432	-0.082
deltoid 2	0.546	-0.013	0.415	0.038	0.375	-0.185	0.430	-0.071
infraspinatus	0.676	0.161	0.687	-0.343	0.533	-0.145	0.498	-0.303
supraspinatus	0.309	0.043	0.578	0.175	0.685	-0.062	1.013	-0.134
teres major	1.173	0.681	1.187	0.024	1.302	-0.001	1.309	-0.952
Latisimus dorsi	0.030	0.006	0.032	0.003	0.031	0.005	0.030	-0.007
pectoralis 1	0.009	0.003	0.013	0.005	0.012	0.000	0.015	-0.004
pectoralis 2	0.189	-0.013	0.127	-0.038	0.108	-0.050	0.107	-0.051

POLA GERAK INTERNAL ROTATION SHOULDER								
otot	detik ke							
	0 sd. 1		1 sd. 2		2 sd. 3		3 sd. 4	
	V max	dv/dt	Vmax	dv/dt	Vmax	dv/dt	vmax	dv/dt
	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)	(mV)	(mV/s)
deltoid 1	0.407	-0.234	0.225	-0.047	0.290	-0.022	0.295	-0.182
deltoid 2	0.566	-0.027	0.284	-0.060	0.488	-0.025	0.450	-0.207
infraspinatus	0.419	-0.096	0.479	0.033	0.485	-0.291	0.341	-0.086
supraspinatus	0.366	0.000	0.358	-0.164	0.280	-0.020	0.285	-0.217
teres major	1.086	0.604	1.273	-0.188	1.057	-0.068	1.288	-0.719
Latisimus dorsi	0.031	0.005	0.032	0.004	0.030	0.002	0.030	-0.007
pectoralis 1	0.015	0.003	0.013	0.000	0.012	0.000	0.011	-0.004
pectoralis 2	0.140	-0.016	0.106	0.011	0.106	-0.038	0.089	-0.018

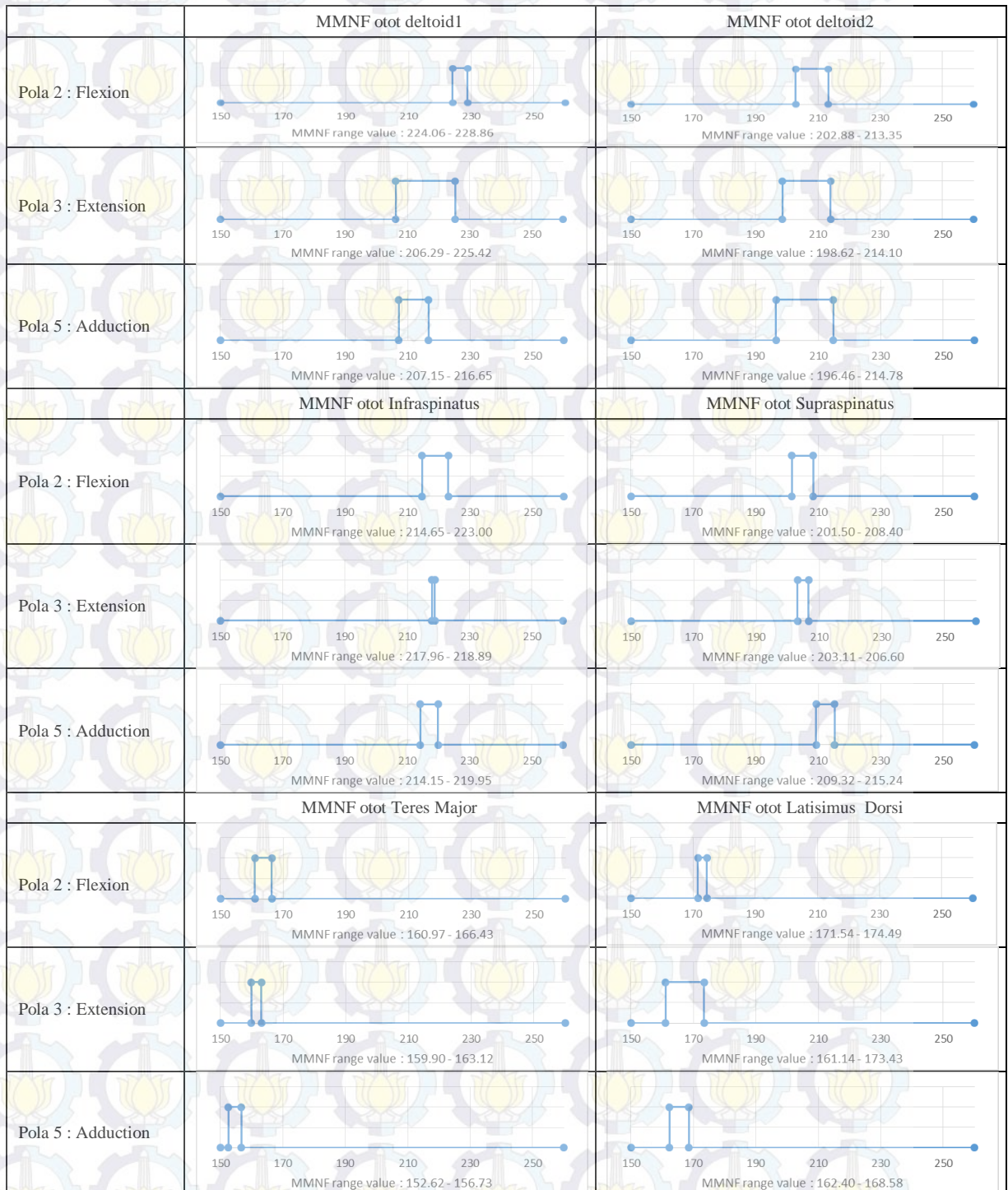
LAMPIRAN 4

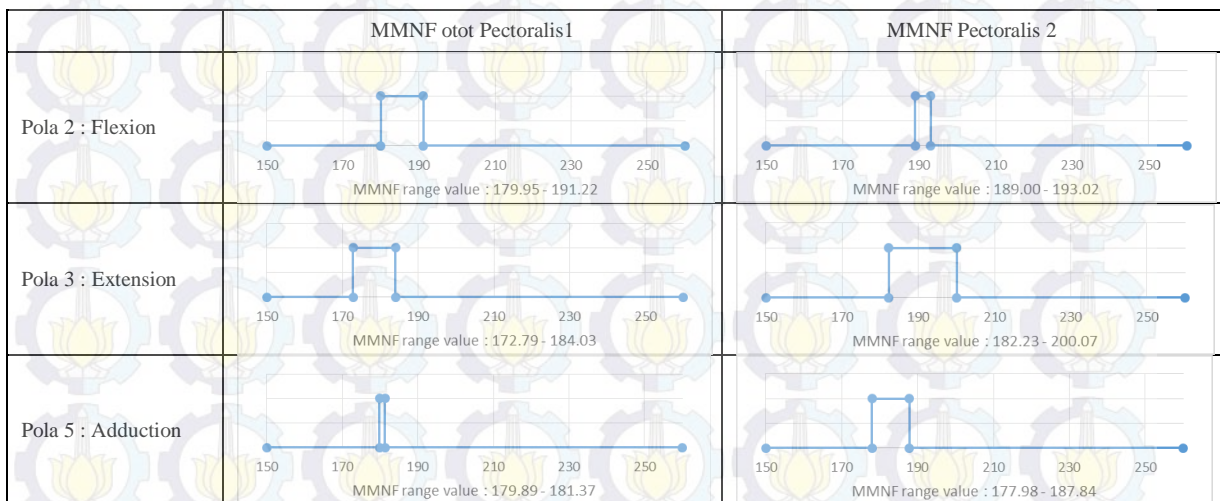
Ekstraksi Ciri MMNF subyek A

Plot dari nilai rata – rata MMNF subyek A dari tiap otot dan tiap pola gerakan seperti ditunjukkan pada gambar berikut:

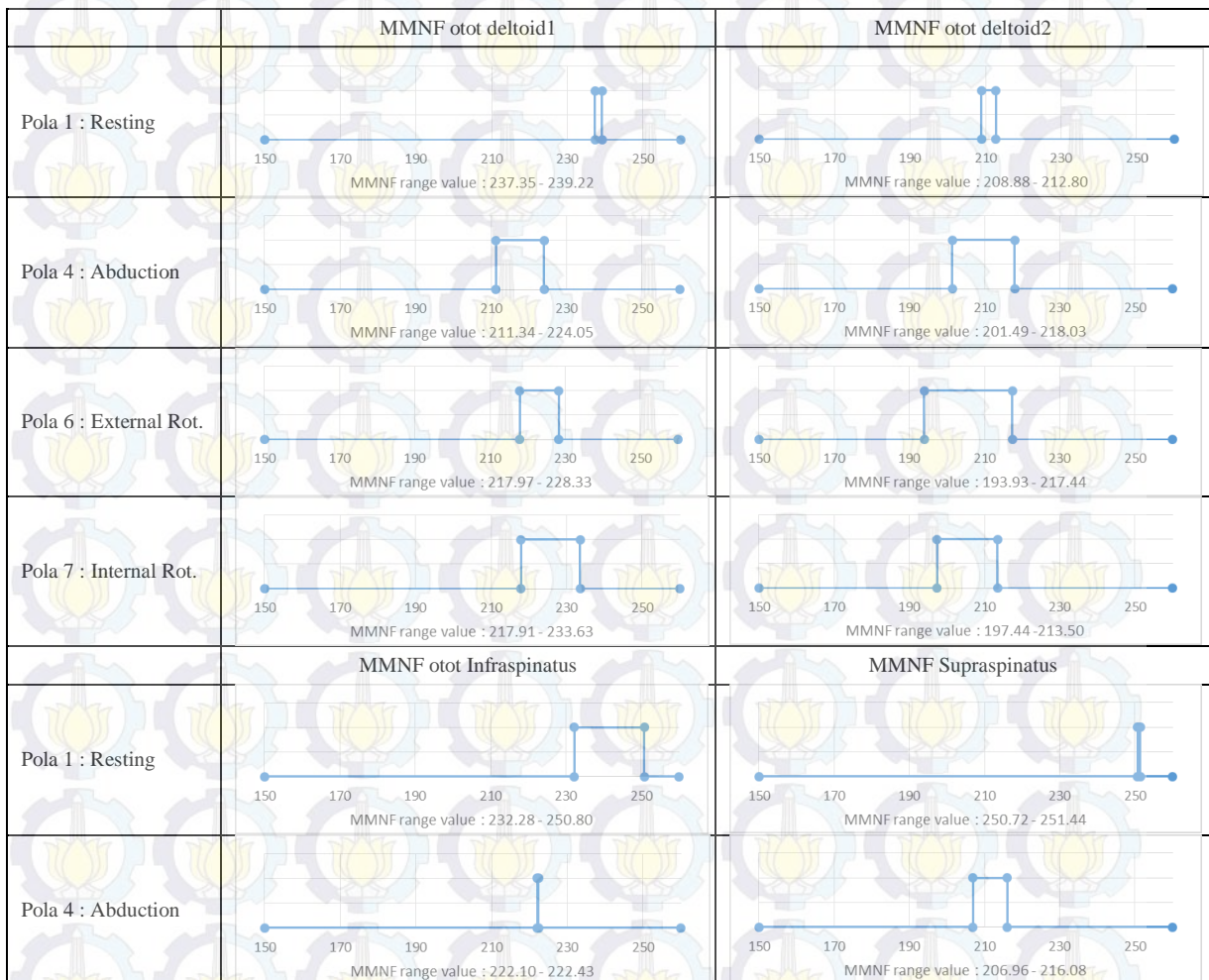


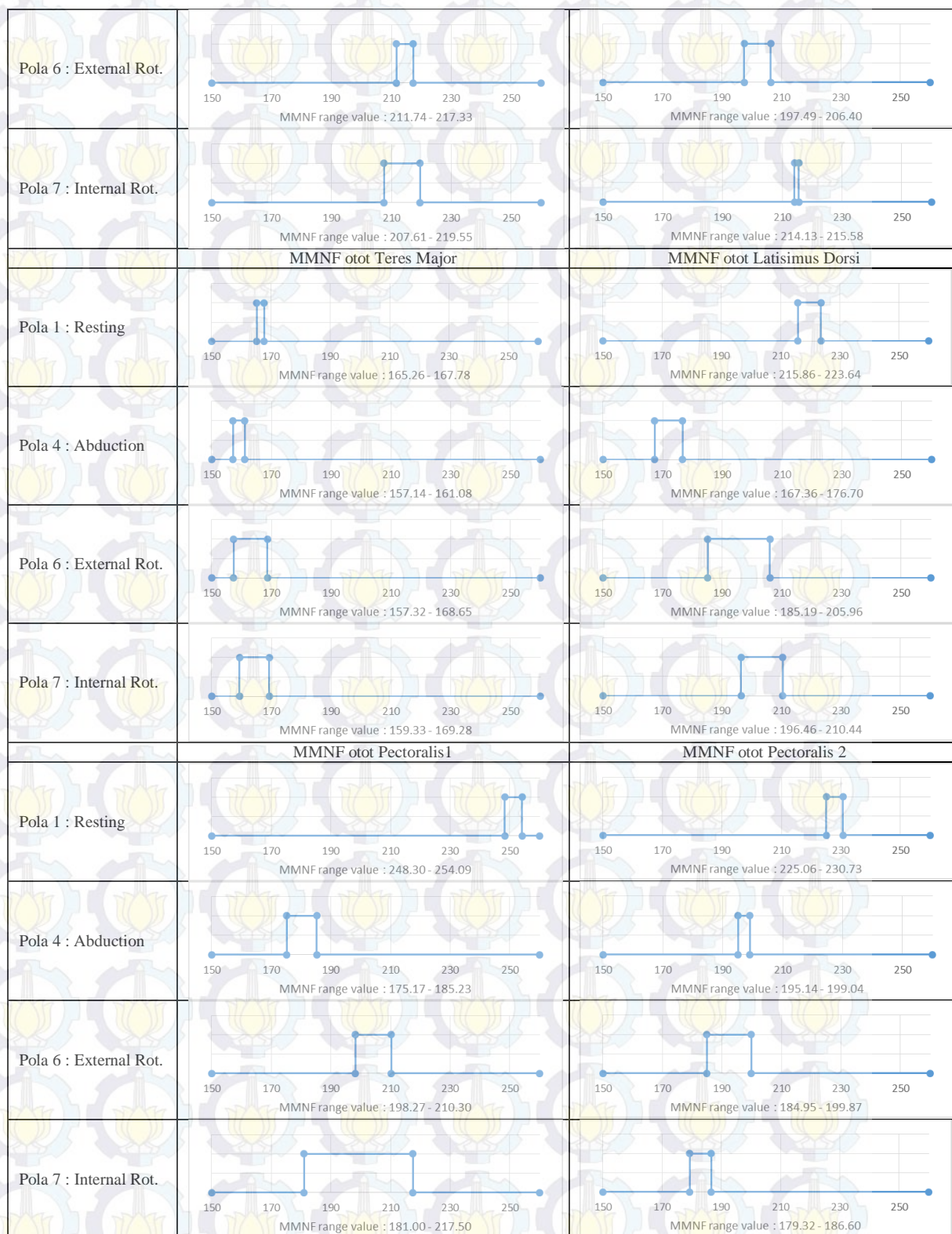
Kemiripan pola pada gerakan Flexion, Extension, dan Adduction mempunyai beberapa data yang tidak saling beririsan , seperti pada gambar berikut :





Untuk pola sinyal Resting, Abduction, External rotation, Internal Rotation mempunyai kemiripan pola, dan nilai MMNF yang saling tidak beririsan sebagai berikut

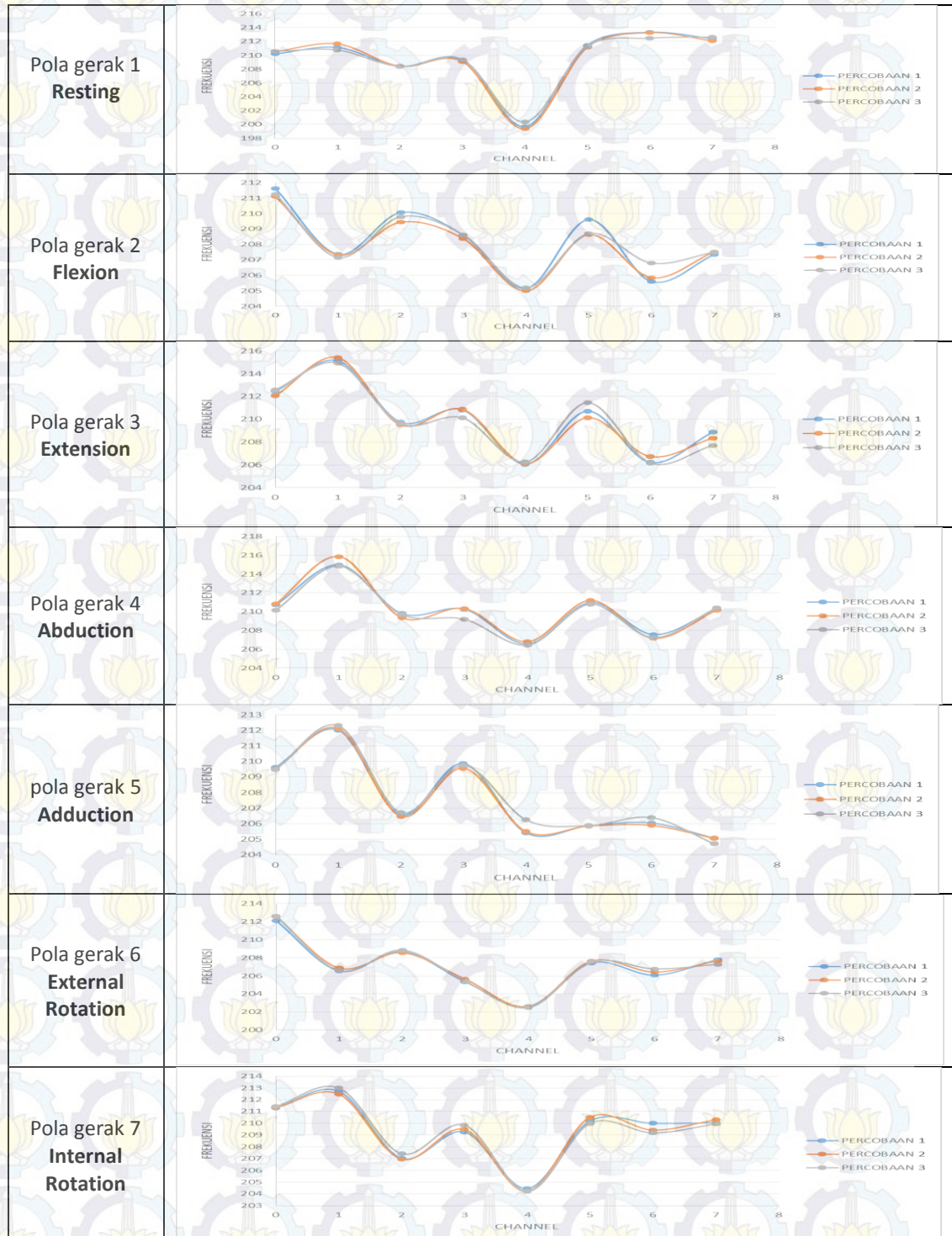




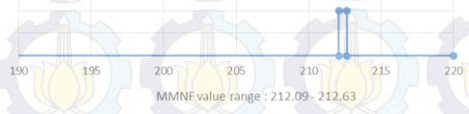
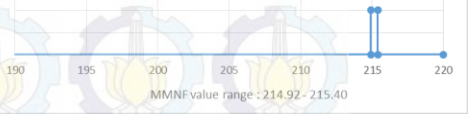
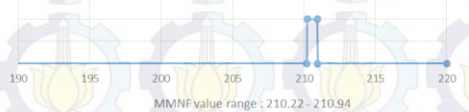
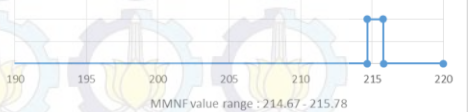
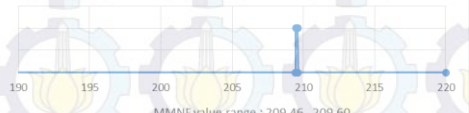
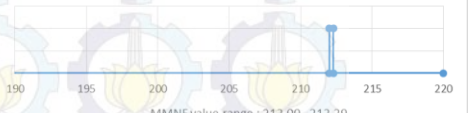
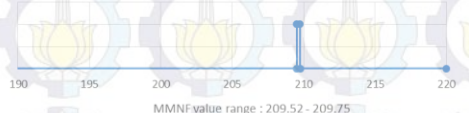
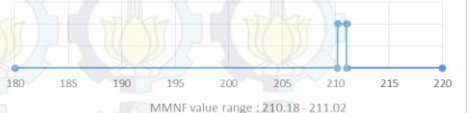

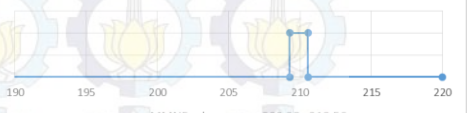
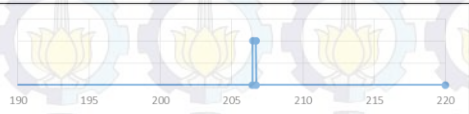
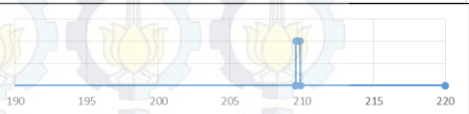
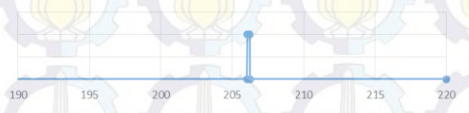

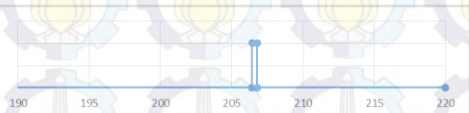

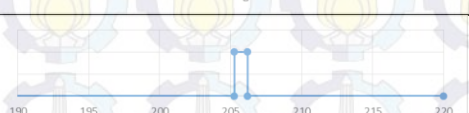
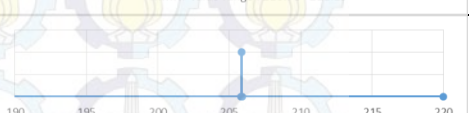
LAMPIRAN 5 :

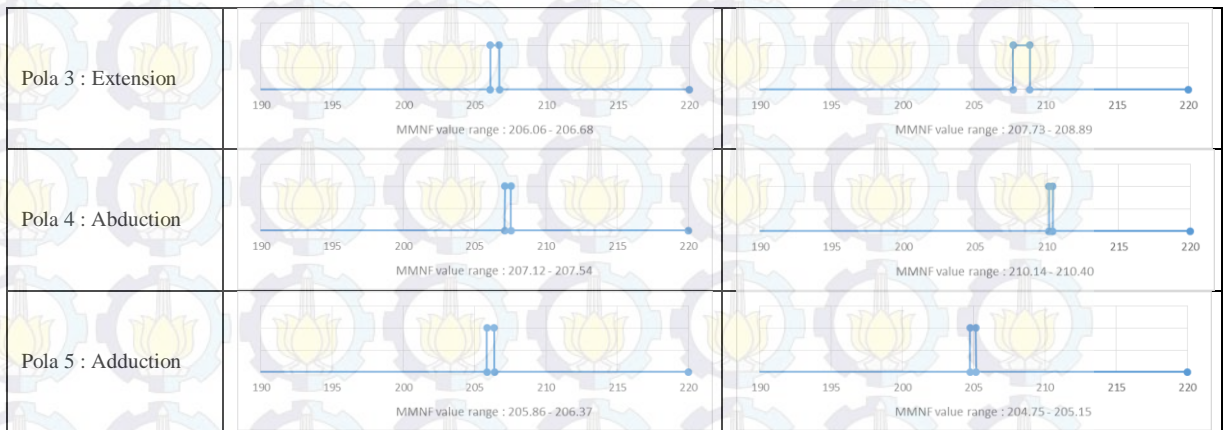
Ekstraksi Ciri MMNF subyek B

Plot dari nilai rata – rata MMNF subyek B dari tiap otot dan tiap pola gerakan seperti ditunjukkan pada gambar berikut:

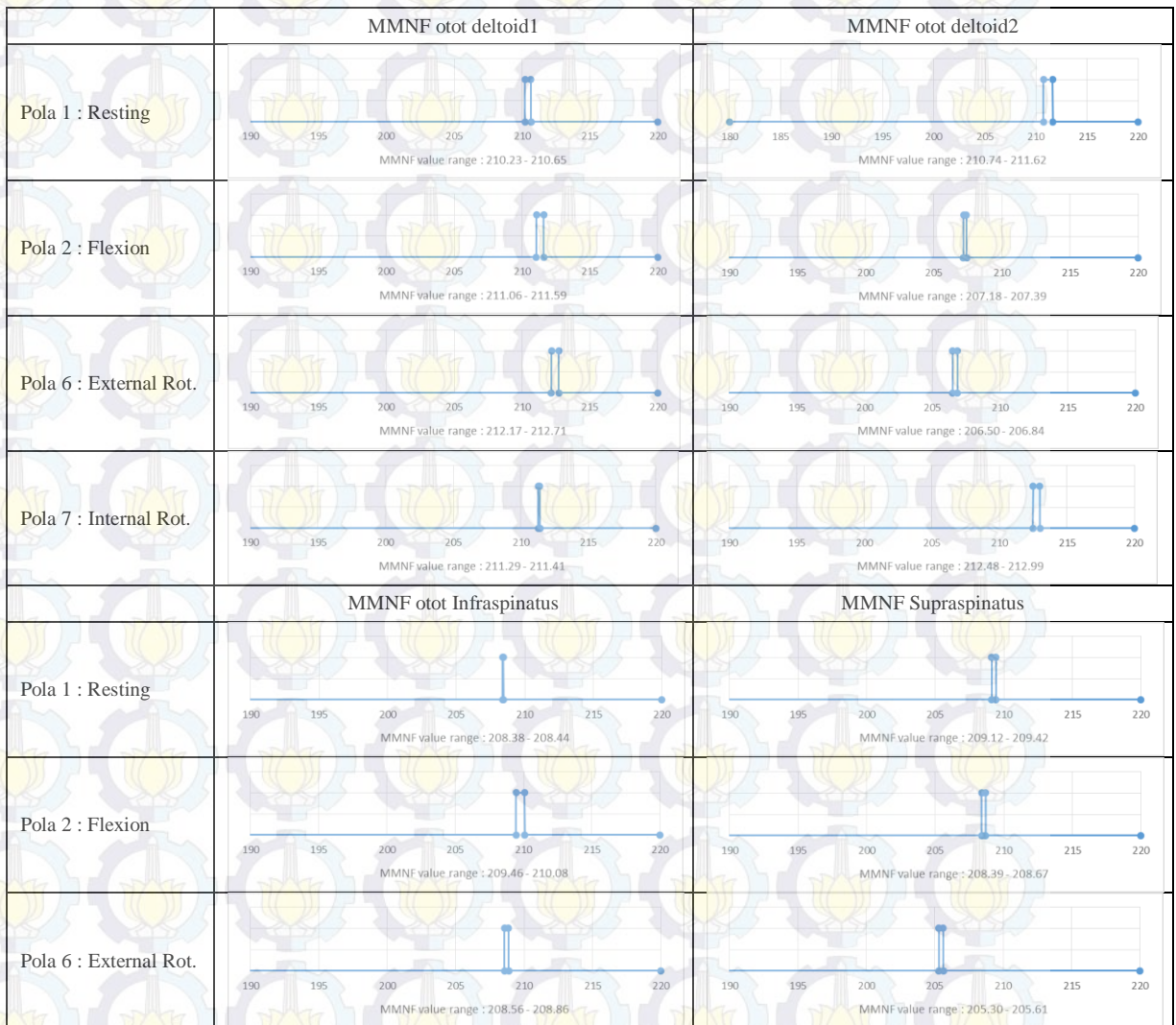


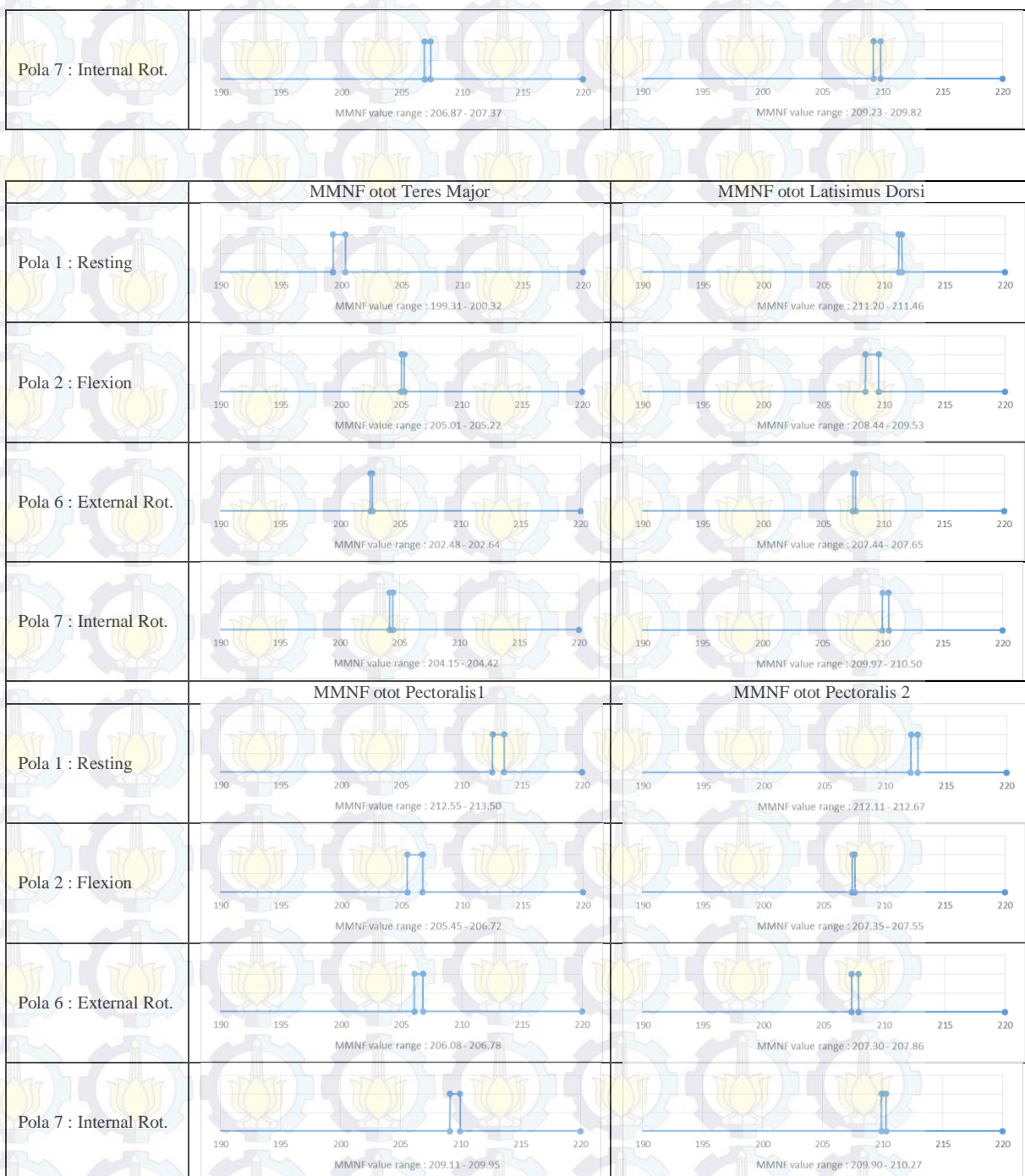
Kemiripan pola pada subyek **B** tidak sama dengan subyek **A**, kemiripan pola yang pertama adalah pola gerakan Abduction, adduction, dan extension. Dari ketiga gerak tersebut mempunyai beberapa data yang tidak saling beririsan , seperti pada gambar berikut :

	MMNF otot deltoid1	MMNF otot deltoid2
Pola 3 : Extension		
Pola 4 : Abduction		
Pola 5 : Adduction		
	MMNF otot Infraspinatus	MMNF otot Supraspinatus
Pola 3 : Extension		
Pola 4 : Abduction		
Pola 5 : Adduction		
	MMNF otot Teres Major	MMNF otot Latisimus Dorsi
Pola 3 : Extension		
Pola 4 : Abduction		
Pola 5 : Adduction		
	MMNF otot Pectoralis1	MMNF Pectoralis 2



Untuk pola sinyal Resting, Flexion, External rotation, Internal Rotation mempunyai kemiripan pola, dan nilai MMNF yang saling tidak beririsan sebagai berikut

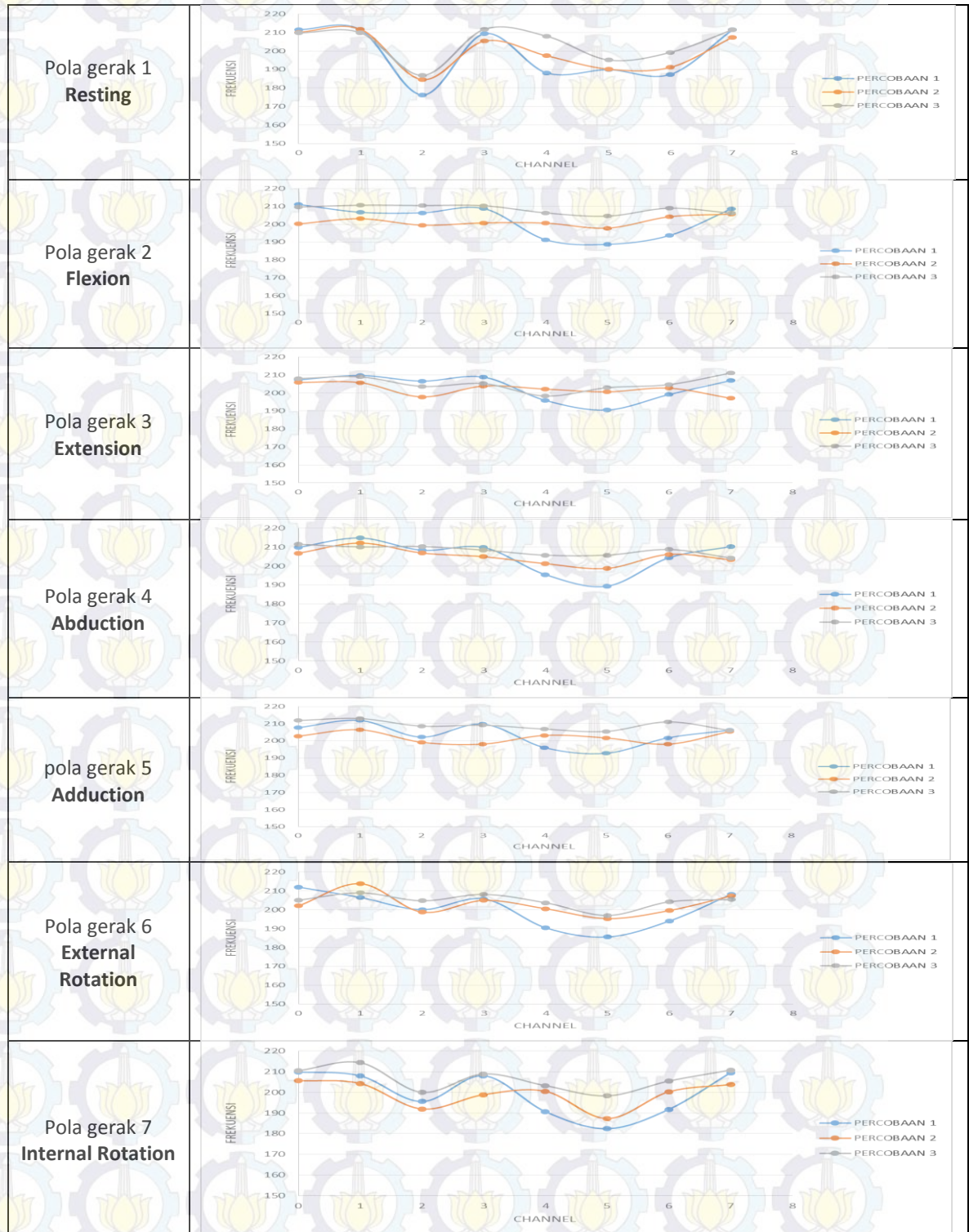




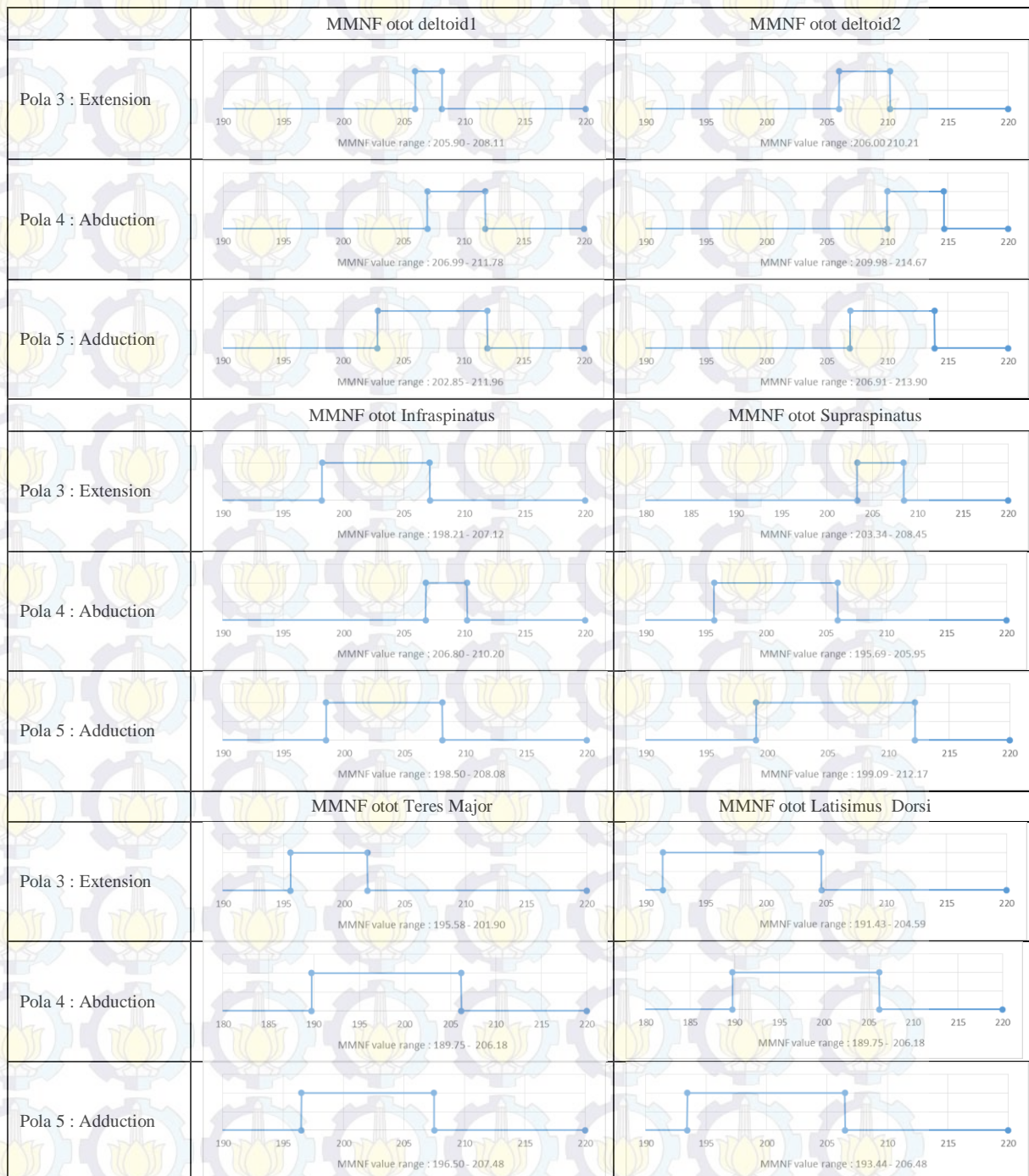
LAMPIRAN 6 :

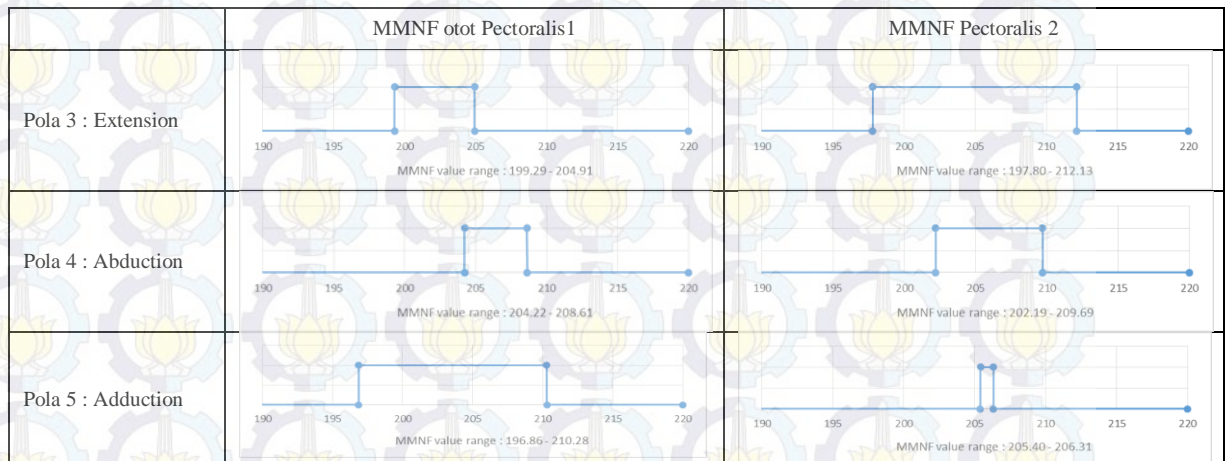
Ekstraksi Ciri MMNF subyek C

Plot dari nilai rata – rata MMNF subyek C dari tiap otot dan tiap pola gerakan seperti ditunjukkan pada gambar berikut:

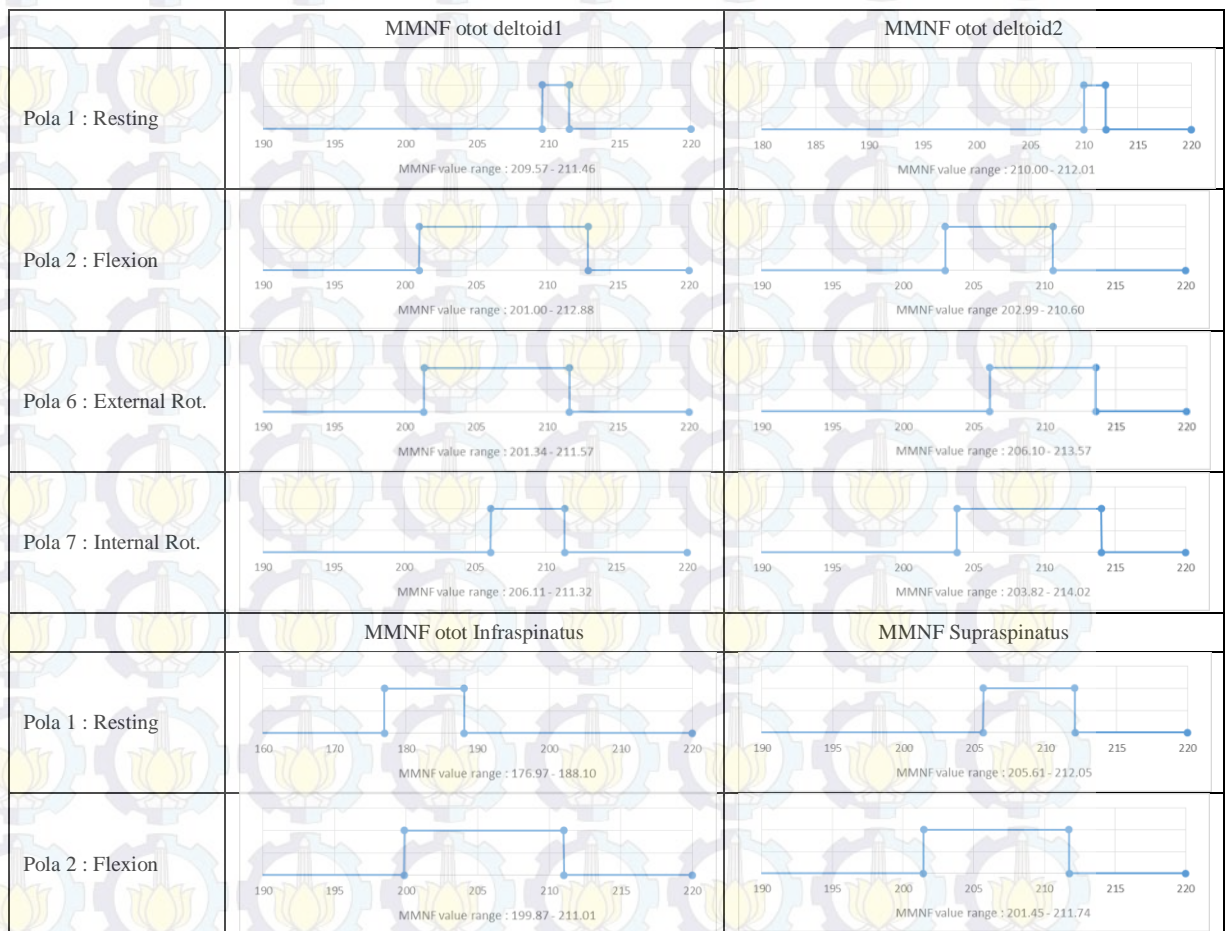


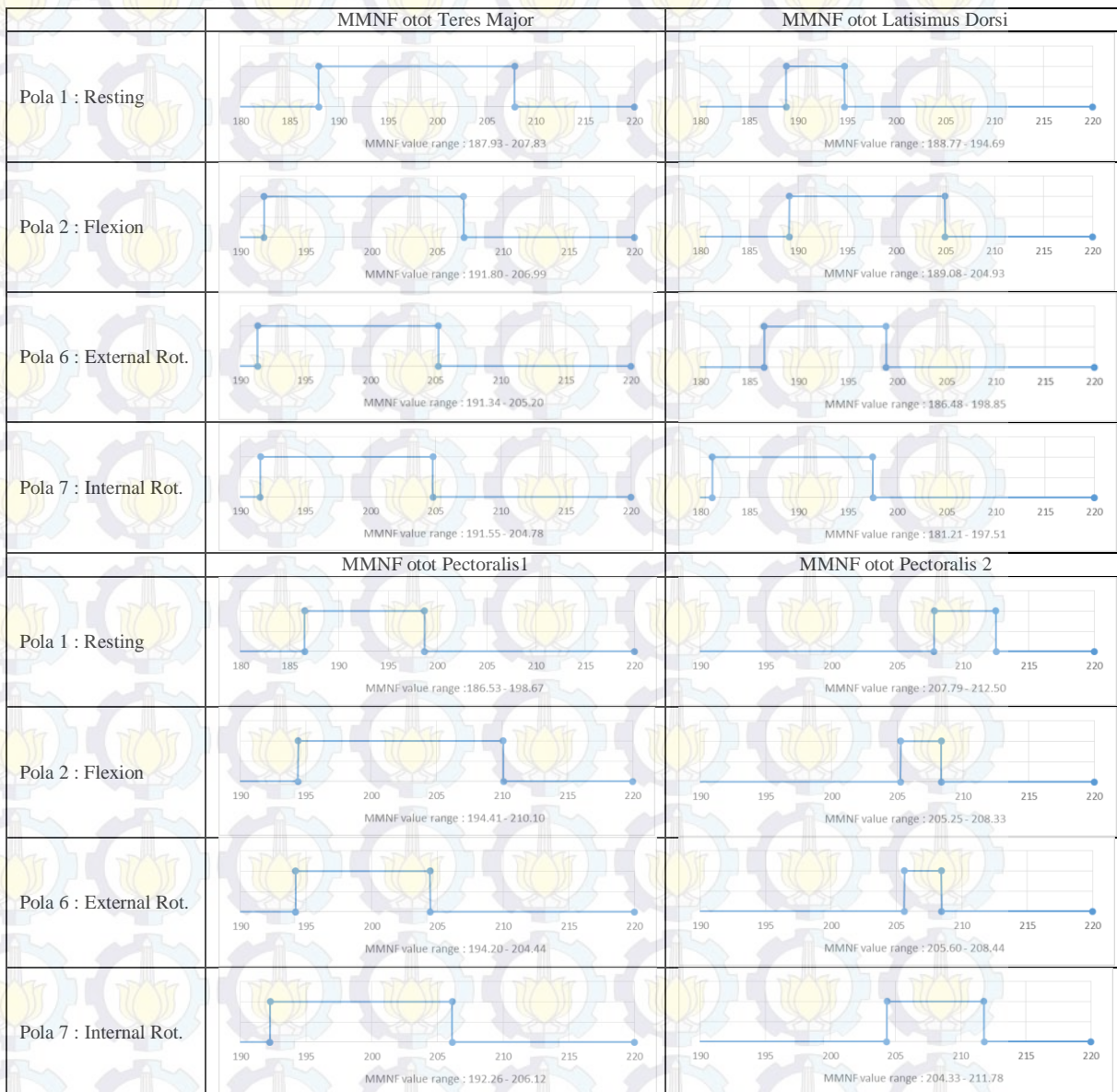
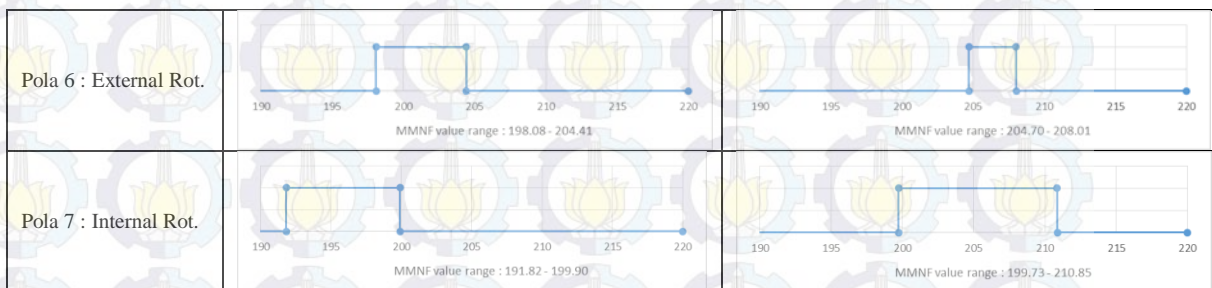
Kemiripan pola pada subyek C sama dengan subyek B, kemiripan pola yang pertama adalah pola gerakan Abduction, adduction, dan extension. Dari ketiga gerak tersebut mempunyai banyak data yang saling beririsan , seperti pada gambar berikut :





Untuk pola sinyal Resting, Flexion, External rotation, Internal Rotation mempunyai kemiripan pola, dan nilai rata-rata MMNF subyek C seperti pada gambar berikut :

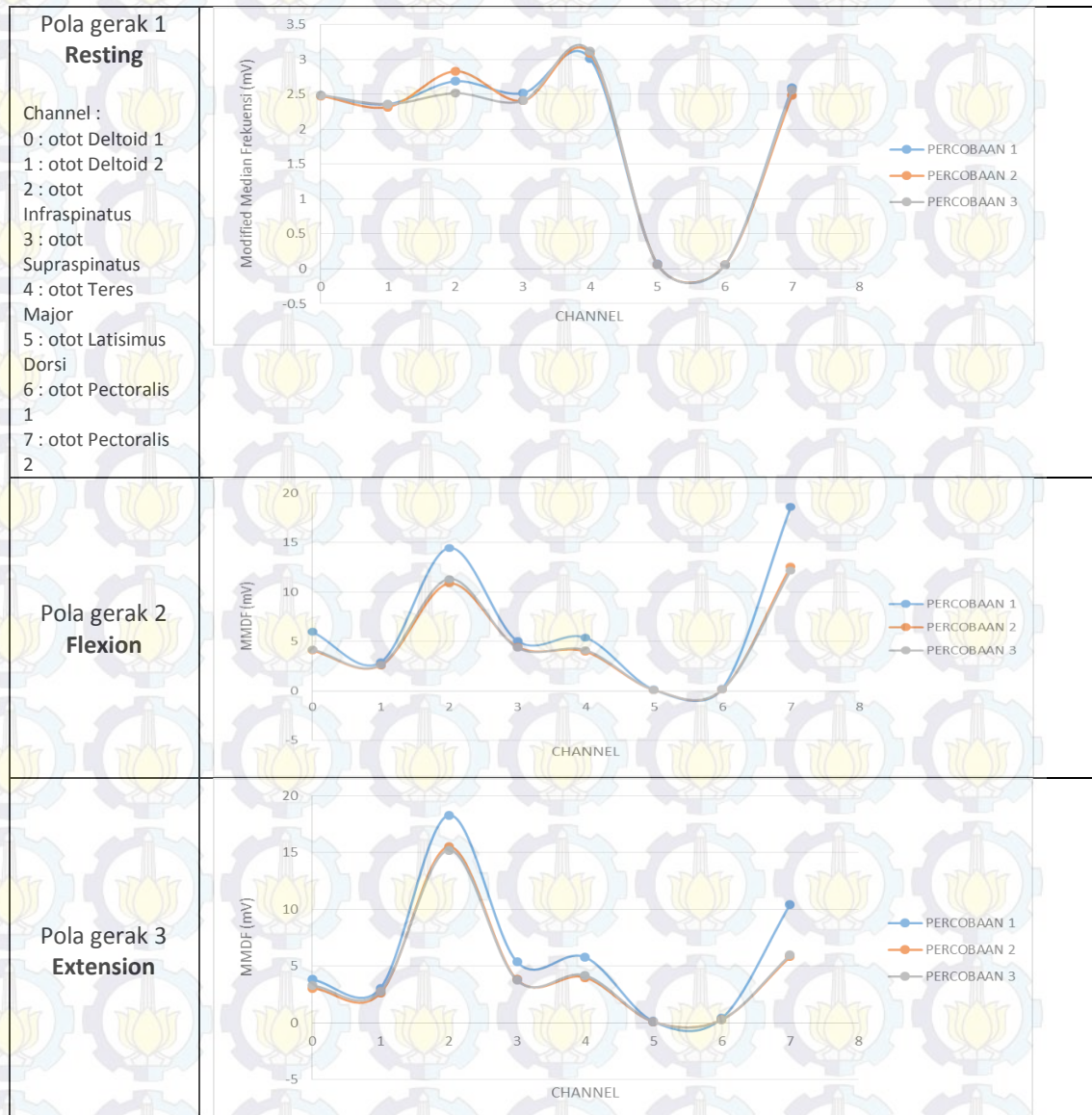


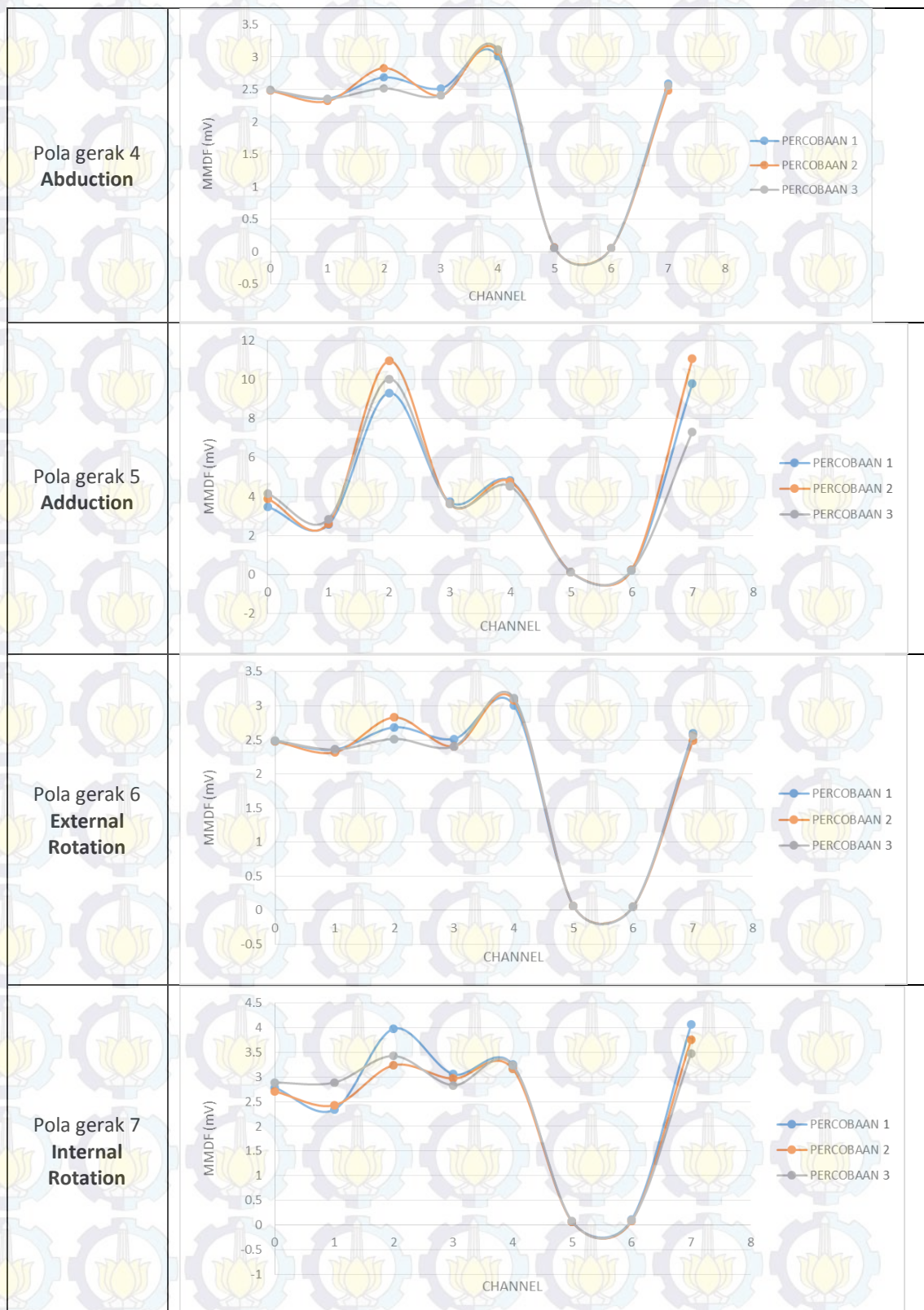


LAMPIRAN 7

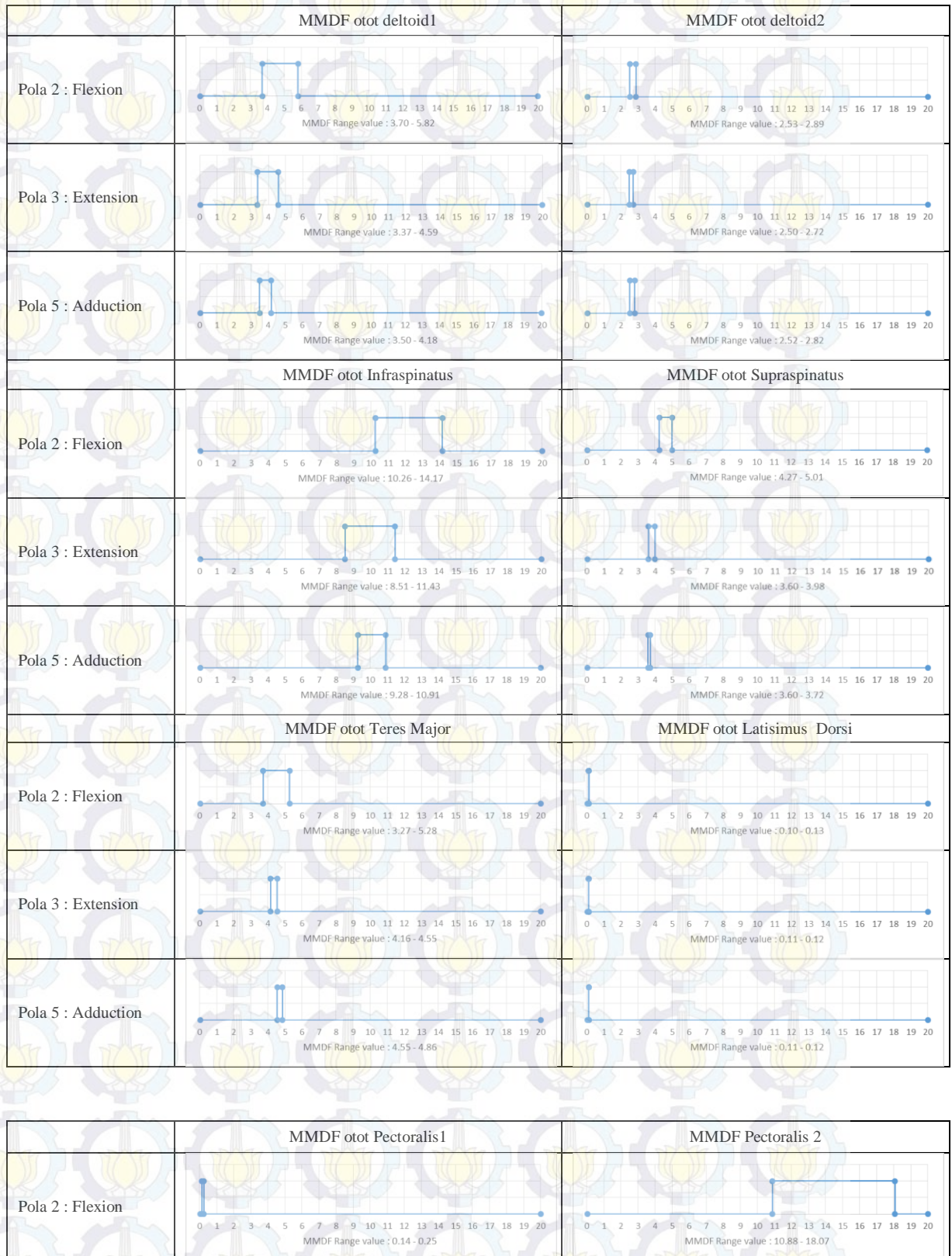
Ekstraksi Ciri MMDF Subyek A

Plot dari nilai rata – rata MMDF subyek A dari tiap otot dan tiap pola gerakan seperti ditunjukkan pada gambar berikut:





Hasil plot MMDF Subyek A



Pola 3 : Extension	 MMDF Range value : 0.16 - 0.22	 MMDF Range value : 9.97 - 13.86
Pola 5 : Adduction	 MMDF Range value : 0.22 - 0.24	 MMDF Range value : 7.49 - 11.29

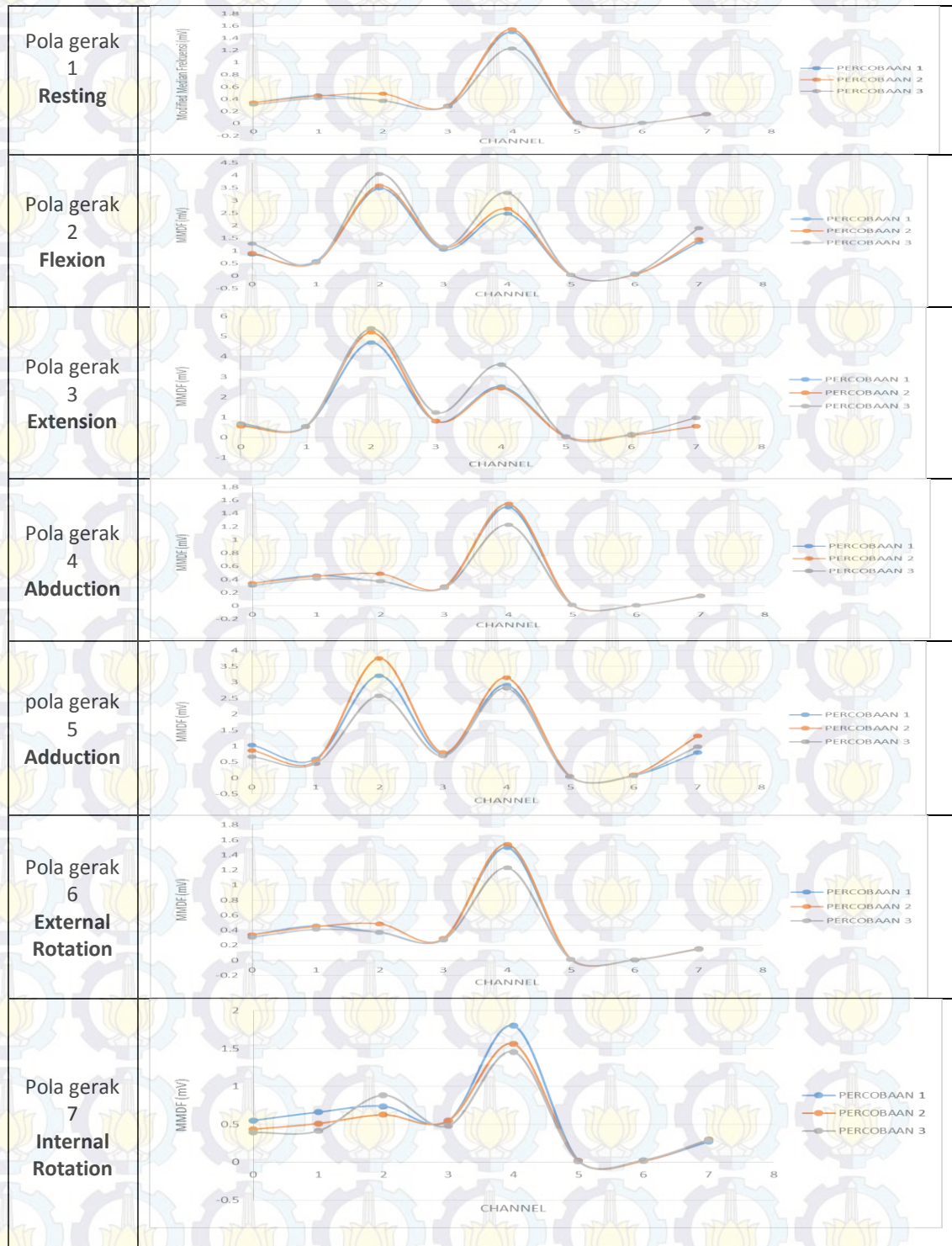
	MMDF otot deltoid1	MMDF otot deltoid2
Pola 1 : Resting	 MMDF Range value : 2.48 - 2.49	 MMDF Range value : 2.32 - 2.37
Pola 4 : Abduction	 MMDF Range value : 3.02 - 3.79	 MMDF Range value : 2.60 - 3.05
Pola 6 : External Rot.	 MMDF Range value : 3.22 - 3.75	 MMDF Range value : 2.34 - 2.75
Pola 7 : Internal Rot.	 MMDF Range value : 2.70 - 2.88	 MMDF Range value : 2.26 - 2.85
	MMDF otot Infrapinatus	MMDF otot Supraspinatus
Pola 1 : Resting	 MMDF Range value : 2.52 - 2.83	 MMDF Range value : 2.38 - 2.51
Pola 4 : Abduction	 MMDF Range value : 14.65 - 18.04	 MMDF Range value : 3.40 - 5.25
Pola 6 : External Rot.	 MMDF Range value : 4.37 - 4.80	 MMDF Range value : 4.02 - 5.23
Pola 7 : Internal Rot.	 MMDF Range value : 3.16 - 3.93	 MMDF Range value : 2.84 - 3.07
	MMDF otot Teres Major	MMDF otot Latisimus Dorsi



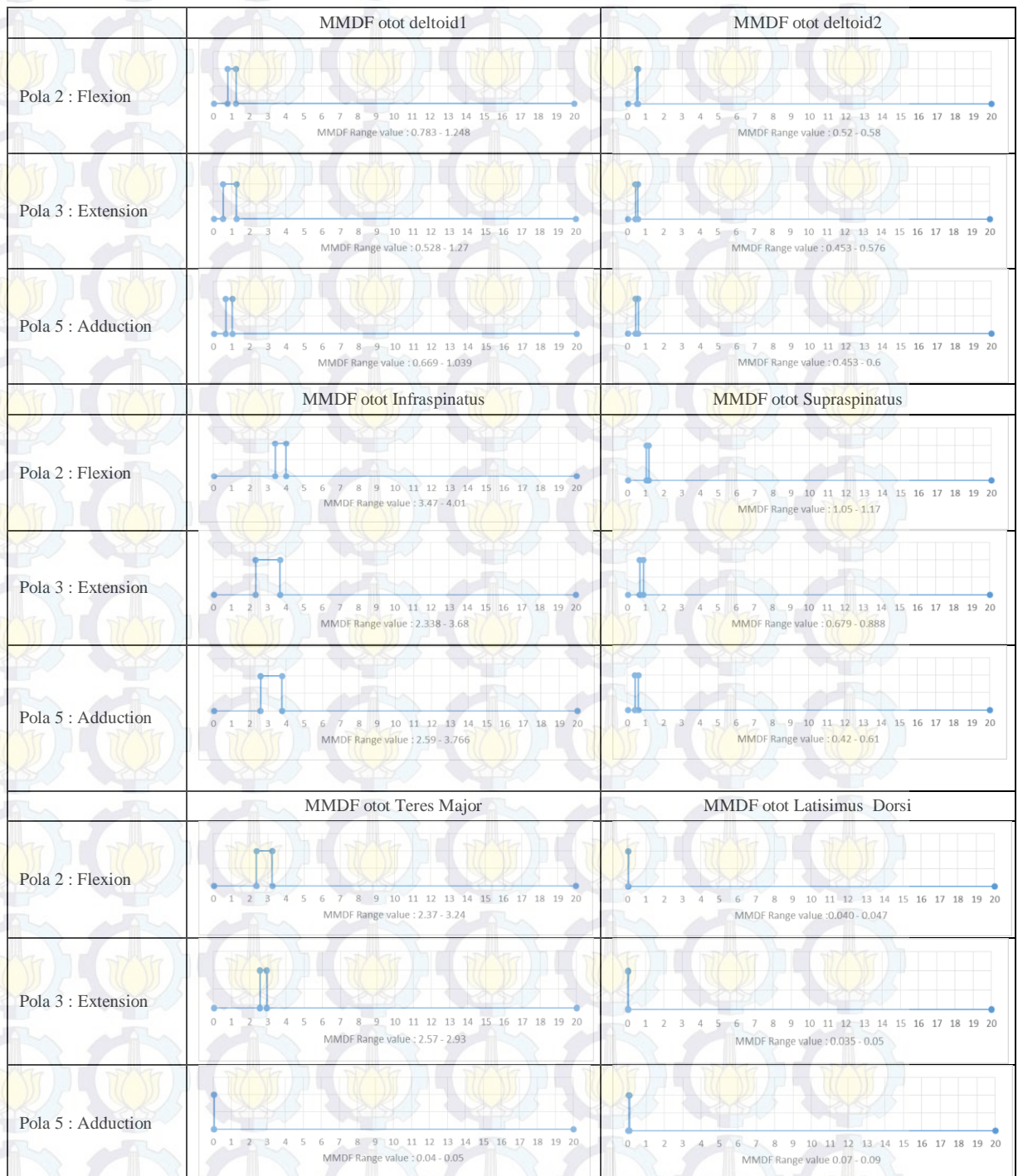
LAMPIRAN 8



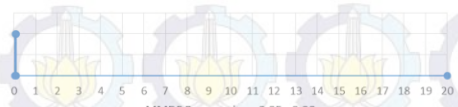

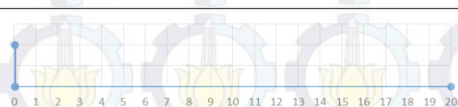
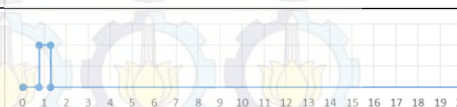
Ekstraksi Ciri MMDF Subyek B

Plot dari nilai rata – rata MMDF subyek B dari tiap otot dan tiap pola gerakan seperti ditunjukkan pada gambar berikut:

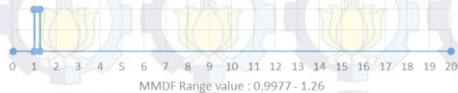















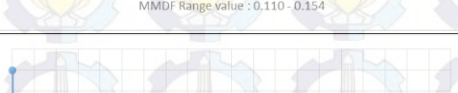

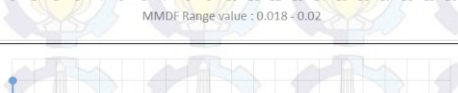
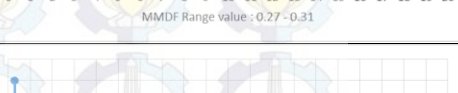


Hasil plot MMDF Subyek B



	MMDF otot Pectoralis1	MMDF Pectoralis 2
Pola 2 : Flexion	 MMDF Range value : 0.044 - 0.09	 MMDF Range value : 1.264 - 1.86
Pola 3 : Extension	 MMDF Range value : 0.05 - 0.08	 MMDF Range value : 0.96 - 1.76
Pola 5 : Adduction	 MMDF Range value : 0.04 - 0.05	 MMDF Range value : 0.77 - 1.29

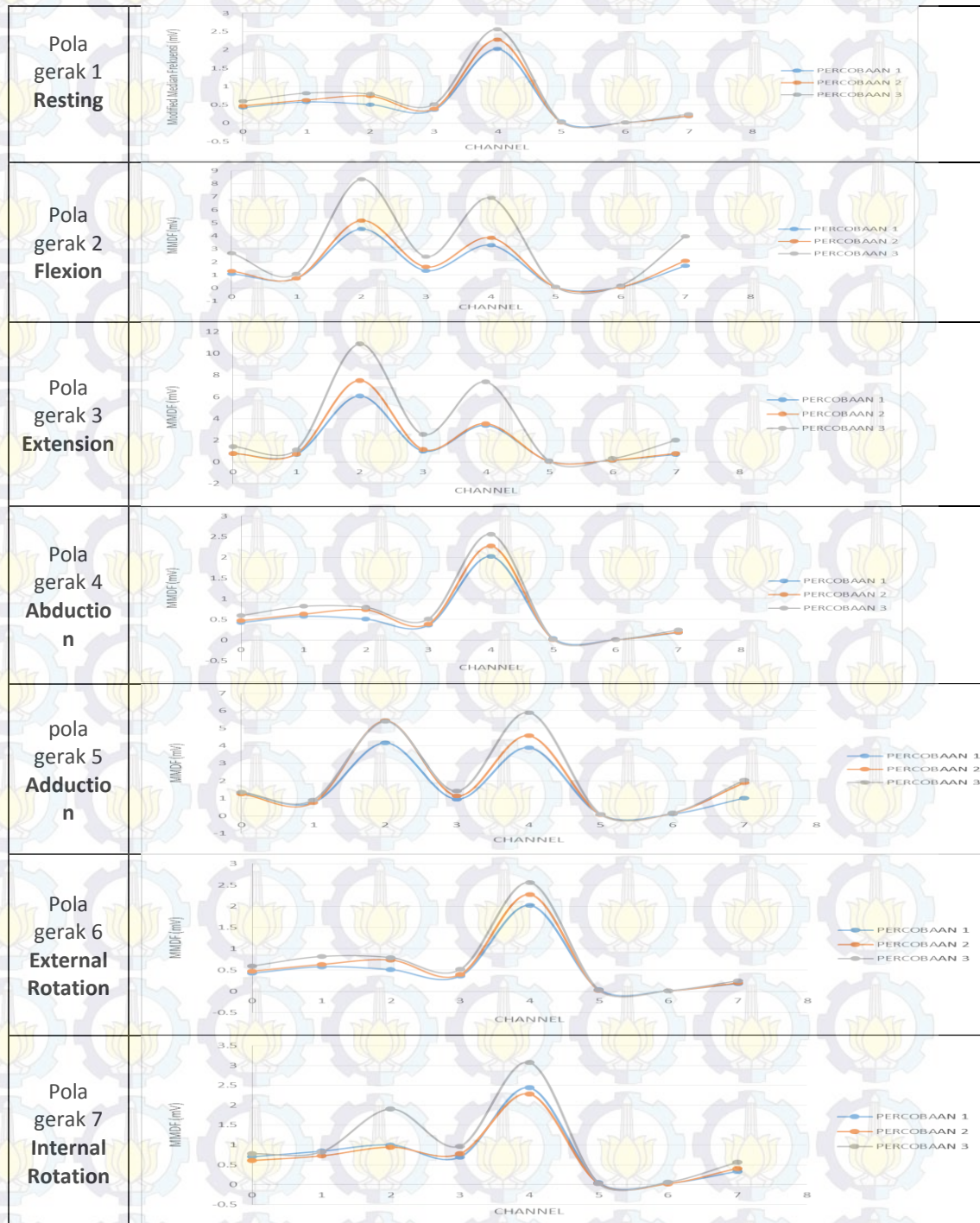
	MMDF otot deltoid1	MMDF otot deltoid2
Pola 1 : Resting	 MMDF Range value : 0.311 - 0.349	 MMDF Range value : 0.42 - 0.46
Pola 4 : Abduction	 MMDF Range value : 0.547 - 0.69	 MMDF Range value : 0.536 - 0.554
Pola 6 : External Rot.	 MMDF Range value : 0.612 - 0.683	 MMDF Range value : 0.47 - 0.61
Pola 7 : Internal Rot.	 MMDF Range value : 0.37 - 0.54	 MMDF Range value : 0.4 - 0.6
	MMDF otot Infraspinatus	MMDF otot Supraspinatus
Pola 1 : Resting	 MMDF Range value : 0.34 - 0.47	 MMDF Range value : 0.27 - 0.29
Pola 4 : Abduction	 MMDF Range value : 4.73 - 5.44	 MMDF Range value : 0.703 - 1.19

Pola 6 : External Rot.		
Pola 7 : Internal Rot.		
MMDF otot Teres Major		MMDF otot Latisimus Dorsi
Pola 1 : Resting		
Pola 4 : Abduction		
Pola 6 : External Rot.		
Pola 7 : Internal Rot.		
MMDF otot Pectoralis 1		MMDF Pectoralis 2
Pola 1 : Resting		
Pola 4 : Abduction		
Pola 6 : External Rot.		
Pola 7 : Internal Rot.		

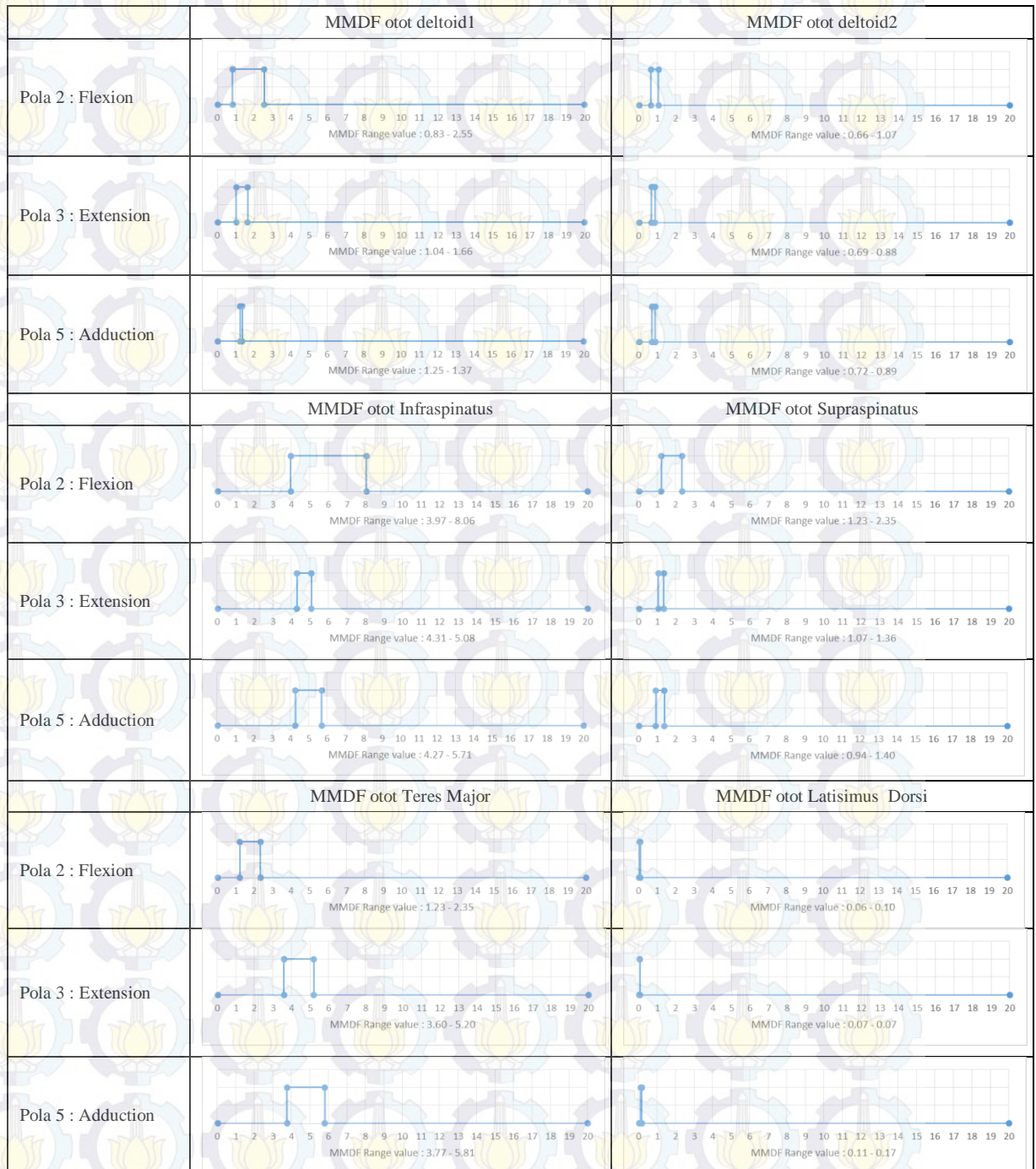
LAMPIRAN 9





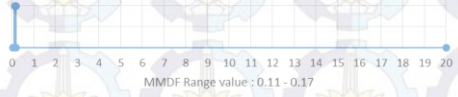

Ekstraksi Ciri MMDF Subyek C

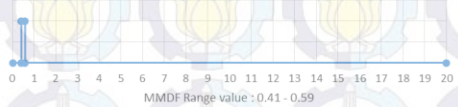
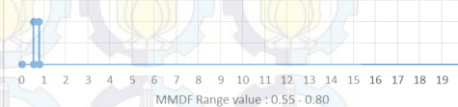
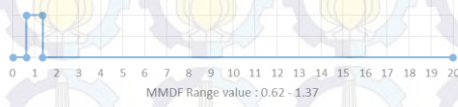

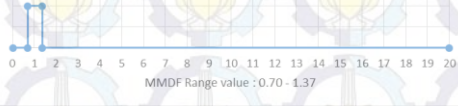

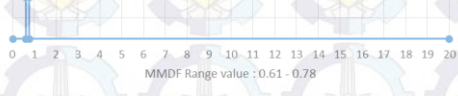

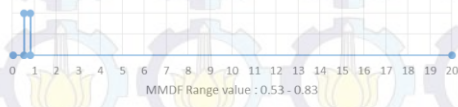

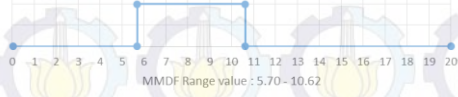

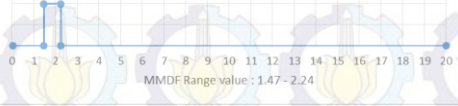

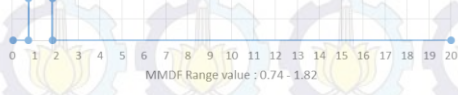

Plot dari nilai rata – rata MMDF subyek C dari tiap otot dan tiap pola gerakan seperti ditunjukkan pada gambar berikut:

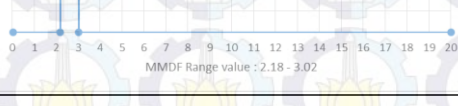

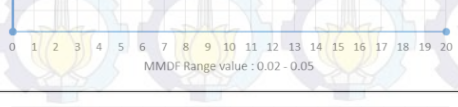


Hasil plot MMDF Subyek B



	MMDF otot Pectoralis 1	MMDF Pectoralis 2
Pola 2 : Flexion		
Pola 3 : Extension		
Pola 5 : Adduction		

	MMDF otot deltoid1	MMDF otot deltoid2
Pola 1 : Resting		
Pola 4 : Abduction		
Pola 6 : External Rot.		
Pola 7 : Internal Rot.		
	MMDF otot Infraspinatus	MMDF otot Supraspinatus
Pola 1 : Resting		
Pola 4 : Abduction		
Pola 6 : External Rot.		
Pola 7 : Internal Rot.		

	MMDF otot Teres Major	MMDF otot Latisimus Dorsi
Pola 1 : Resting	 MMDF Range value : 2.02 - 2.56	 MMDF Range value : 0.02 - 0.04
Pola 4 : Abduction	 MMDF Range value : 2.50 - 7.03	 MMDF Range value : 0.06 - 0.09
Pola 6 : External Rot.	 MMDF Range value : 2.23 - 3.22	 MMDF Range value : 0.03 - 0.05
Pola 7 : Internal Rot.	 MMDF Range value : 2.18 - 3.02	 MMDF Range value : 0.02 - 0.05
	MMDF otot Pectoralis 1	MMDF Pectoralis 2
Pola 1 : Resting	 MMDF Range value : 0.01 - 0.02	 MMDF Range value : 0.18 - 0.24
Pola 4 : Abduction	 MMDF Range value : 0.13 - 0.30	 MMDF Range value : 0.44 - 1.90
Pola 6 : External Rot.	 MMDF Range value : 0.02 - 0.05	 MMDF Range value : 0.36 - 0.52
Pola 7 : Internal Rot.	 MMDF Range value : 0.02 - 0.06	 MMDF Range value : 0.32 - 0.55

RIWAYAT HIDUP



Nama : Paulus Susetyo Wardana
Alamat : Jl. Kejawen Gebang 4/19D Keputih
Surabaya
Tempat, tanggal lahir : Pasuruan, 10 April 1970
No Telepon : 081217430301
Alamat email : wardana@eepis-its.edu
: paulus10@mhs.ee.its.ac.id
Pendidikan : 1. SDK St. Maria 1 Malang
2. SMPK St. Maria 1 Malang
3. SMAN 3 Malang
4. Politeknik Negeri Malang
5. Strata 1, Bidang studi Elektronika,
Jurusan Teknik Elektro, Universitas
Brawijaya Malang
Pekerjaan : Staff pengajar pada program studi
Teknik Elektronika, Politeknik
Elektronika Negeri Surabaya.